



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

BADANIA SYSTEMOWE
Inżynieria Środowiska

**BEZPIECZEŃSTWO SYSTEMÓW
ZAOPATRZENIA W WODĘ**

Janusz Ryszard Rak

Warszawa 2009



**BEZPIECZEŃSTWO SYSTEMÓW
ZAOPATRZENIA W WODĘ**

**POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH**

Seria: BADANIA SYSTEMOWE, tom 66

Redaktor naukowy: prof. Jakub Gutenbaum

Podseria: Inżynieria Środowiska

Warszawa 2009

**BEZPIECZEŃSTWO SYSTEMÓW
ZAOPATRZENIA W WODĘ**

Janusz Ryszard Rak

Publikacja wydana ze środków projektu badawczego MINISTERSTWA NAUKI
i SZKOLNICTWA WYŻSZEGO: nr R 11 001 01

Omówiono problematykę bezpieczeństwa miejskich Systemów Zaopatrzenia w Wodę. Bezpieczeństwo uznawane jest za współczesny miernik jakości działania systemów zaliczanych do tzw. infrastruktury krytycznej. Jednym z podstawowych warunków funkcjonowania aglomeracji miejskich jest zapewnienie bezpieczeństwa dostawy wody do spożycia przez wodociąg publiczny. Definiowane jest ono, jako stan umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na wodę w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony z poszanowaniem ochrony naturalnych zasobów wód. Analizy i oceny ryzyka są pierwszoplanową procedurą zarządzania bezpieczeństwem systemami zaopatrzenia w wodę (SZW). Zaproponowano ilościowe wartości ryzyka zdrowotnego związanego ze spożywaniem wody wodociągowej, które mogą być wykorzystane w analizie zagrożeń w krytycznych punktach kontroli. W analizach efektywności redukcji ryzyka celowe jest stosowanie rachunku kosztów rocznych z uwzględnieniem strat związanych z uszczerbkiem na zdrowiu człowieka. Zaprezentowane instrumenty zarządzania ryzykiem w odniesieniu do zdarzeń pogodowych dają możliwość ochrony przed niepożądanymi warunkami atmosferycznymi. Dokonano interpretacji procedur obróbki danych statystycznych pod kątem analizy ryzyka. Wykorzystano pojęcie semiwariancji i semiodchylenia standardowego jako miary oceny ryzyka.

Recenzenci:

Dr hab. inż. Michał Inkielman

Dr hab. inż. Janusz Łomotowski

Dr hab. inż. Jan Studziński

Komputerowa edycja tekstu: Anna Gostyńska

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2009

Instytut Badań Systemowych PAN

Newelska 6, PL 01-447 Warsaw

Sekcja Informacji Naukowej i Wydawnictw IBS PAN

e-mail: biblioteka@ibspan.waw.pl

ISSN 0208-8029

ISBN 978-83-89-47524-4

*W poskromieniu i kontrolowaniu
ryzyka chodzi o to, by przyszłość
stała się szansą, a nie zagrożeniem*

A. Wieczysty

Słowo wstępne

Zagadnienia niezawodności i bezpieczeństwa dla systemów zaopatrzenia w wodę są bardzo istotne, o czym zaświadcniają liczne doniesienia publikacyjne w zagranicznych i krajowych czasopismach naukowych oraz monograficzne wydawnictwa książkowe. Autor zajmuje się tymi zagadnieniami od ponad 30 lat: początkowo w pracy magisterskiej (1976 r.), potem w rozprawie doktorskiej (1986 r.), w pracach prowadzonych w CPBP i w grantach KBN, w rozprawie habilitacyjnej (1994 r.), monografii profesorskiej (2006 r.) i w wielu opublikowanych artykułach naukowych. Podsumowaniem i uwieńczeniem tych dokonań jest 6 monografii z tego zakresu wiedzy [131, 137, 140, 141, 154, 156].

Zadaniem Autora związanym z treściami zawartymi w obecnej pracy było odwołanie się do wrażliwości intelektualnej Czytelnika. Dominantą jest wrażliwość techniczna i matematyczna, ale nie bez znaczenia jest także ekonomiczna oraz humanistyczna. W pracy celowo został złamany podział na to, co jakościowe (opisowe) i tego, co ilościowe (w zapisie matematycznym), w celu uzyskania przez Czytelnika całościowego oglądu wiedzy z zakresu niezawodności i bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Zdaniem Autora przedstawione treści przyczynią się do pogłębionych przemyśleń teoretycznych i praktycznych na temat ryzyka w zaopatrzeniu w wodę do spożycia.

Inżynieria niezawodności i bezpieczeństwa SZW wymaga ciągłego i systemowego monitorowania wskaźników eksploatacyjnych w celu zapewnienia coraz wyższych wymagań z zakresu ilości i jakości wody do spoży-

cia, w ramach komfortu korzystania z wodociągu publicznego. Prowadzi to do realizacji cyklu: analiza – modyfikacja – synteza – weryfikacja, aż do osiągnięcia wymaganego poziomu niezawodności i bezpieczeństwa SZW. Obecnie w przedsiębiorstwach wodociągowych zaczynają dominować strategie zarządzania marketingowo-logistycznego, które są ukierunkowane na możliwie najlepsze zaspokojenie potrzeb i zadowolenie konsumentów wody. Wymagania konsumentów ciągle rosną, więc producenci muszą podejmować wysiłki na rzecz rozwoju i doskonalenia technik sterowania bezpieczeństwem i niezawodnością, związanych z dostawą wody do spożycia.

Wiedza systemowa o niezawodności i bezpieczeństwie tworzy konieczny dystans do wiedzy specjalistycznej. Stanowi dodatkowy ekwipunek osobisty, który przydaje się w różnych praktycznych sytuacjach decyzyjnych związanych z zastosowaniami wiedzy specjalistycznej. Głęboką jej wymowę zawsze podkreślał nieodżałowany Mistrz naukowy Autora, śp. prof. zw. dr hab. inż. Artur Wieczysty, dr hc. PK, cytując przypowieść Cervantesa: „Są rzeczy, w które trzeba wierzyć, by je zobaczyć”, i dodawał: „...prawdziwa wiara musi być zupełna i wymaga ponoszenia ryzyka”.

Sceptycy twierdzą, że cywilizacje rozwijały się bez unormowanej wiedzy o bezpieczeństwie i niezawodności. Ludzie radzili i radzą sobie w życiu, nie zaprzatając sobie umysłu tą wiedzą, a wielu specjalistów traktuje analizy niezawodnościowe, jako sztukę dla sztuki. Jednak nauka o niezawodności i bezpieczeństwie systemów technicznych posiada już prawa i pojęcia, których przyswojenie wymaga przełamania pewnych barier psychologicznych i logicznych. Coraz większa liczba specjalistów próbuje je pokonać, chociaż są też tacy, którzy nie widzą konieczności ponoszenia dodatkowego wysiłku. Niewątpliwie jest to sprawa indywidualnych predyspozycji, przygotowania zawodowego, oraz aspiracji i chęci. Często odrzucenie potrzeby wiedzy na ten temat ma charakter mimowolny, spowodowany odmiennością w stosunku do dotychczasowych doświadczeń. Niezależnie od tego, czy komuś podoba się to, czy nie, teoria niezawodności i bezpieczeństwa jest praktycznie codziennie weryfikowana, co do jej przydatności w rozwiązywaniu problemów inżynierskich. To ta wiedza była rozstrzygającym czynnikiem rozwoju lotów kosmicznych, urządzeń elektronicznych, przemysłu samochodowego, informatyki itp. Szczególnie przydatna jest w sytuacjach ekstremalnych, czego nie raz już Autor doznał w ramach osobistych doświadczeń. Wielokrotnie pozwoliła mu efektywnie odkrywać dobro i ostrzegać przed złym oraz antycypować rozwój zdarzeń typu ‘efekt domina’. „Tylko dogłębne traktowanie niezawodności bezpieczeństwa może dać nam sukces”, to główna teza frapującego referatu prof. A. Wieczystego nt. „Człowiek i woda – retrospekcja”, wygłoszonego 20 października

2000 roku na Jubileuszowej Sesji Naukowej Instytutu Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska Politechniki Krakowskiej pt. „Systemy zaopatrzenia w wodę i usuwania ścieków u progu trzeciego tysiąclecia”.

Słowa wdzięczności kieruję do Dominiki Początek za pomoc w pracach edytorskich i wszechobecną życzliwość, która mi każdorazowo towarzyszyła przy redagowaniu moich prac.

Autor ma nadzieję, że treści zawarte w tej monografii zostaną przychylnie przyjęte przez Czytelników i przyczynią się do popularyzacji metod zarządzania oraz oceny ryzyka, które współcześnie są tak żywo dyskutowane i z równą mocą rozwijane w zakresie bezpieczeństwa systemów technicznych. Ostateczną ocenę pracy pozostawia Autor Czytelnikom.

Janusz Ryszard RAK

1. Wstęp

Motorem postępu był fakt, że geniusz ludzki od pradziejów był niezadowolony ze swoich osiągnięć. To ciągłe udoskonalenie procesów i wyrobów tworzyło postęp cywilizacyjny [36]. Bezpieczeństwo towarzyszyło ludziom „od zawsze” i było związane z zaspokojeniem podstawowych potrzeb. Praczułowiek zbierając runo leśne w celu zaspokojenia głodu starał się nie zatrucić. W tamtych czasach praludzie tworzyli postęp na zasadzie prób i błędów. Pierwsze zapisane kryteria względem bezpieczeństwa zawarte zostały w kodeksie króla Babilonii Hammurabiego (XVIII w p.n.e.), w którym między innymi zakazywano otwieranie śluz na kanałach nawadniających, jeżeli mogłoby to doprowadzić do zalania przyległych terenów rolniczych. Starożytni greccy filozofowie Platon i Arystoteles definiowali podstawowe pojęcie. Arystoteles w swoim dziele „Logika” (380 r p.n.e.) zdefiniował jakość, „jak to, na mocy czego rzeczy są w pewien sposób określone”. Pierwotne kryteria jakości i bezpieczeństwa definiowane były w odniesieniu do handlu, gdzie kupujący i sprzedający według nich oceniali towar. Chodziło o uzyskanie zapewnienia, że dany wyrób gwarantuje oczekiwany poziom. Duchowe podejście filozofii Dalekiego Wschodu kładło nacisk na potrzebę stałego doskonalenia. W Złotej Księżce Tao Te Cing (VI w p.n.e.) traktuje jakość, „jako doskonałość, której nigdy nie osiągnie, lecz do której trzeba uporczywie dążyć”. Podstawą japońskich sukcesów gospodarczych jest filozofia usprawniania metodą „małych kroków” i nawyk pracy zespołowej. Uważa się, że systemowe oceny jakości w Europie wprowadził w XVII w. sekretarz stanu Ludwika XIV, J.B. Colbert, w produkcji na rzecz wojska [126]. W filozofii amerykańskiej jakość i bezpieczeństwo jest pochodną sądu wartościującego wydawanego przez klienta. Nie ma konsumenta, nie ma osądu [37].

Legendarny, o paranoidalnej osobowości król Herod Wielki był wybitnym znawcą architektury i za jego czasów na zawsze zmienił się krajobraz Ziemi Świętej. Za jego panowania wybudowano Cezareę Nadmorską,

której nabrzeża chroniły falochrony z betonu wykonanego na bazie pyłu wulkanicznego sprowadzonego z Rzymu. Tą budowlę wodną zniszczyło dopiero tsunami w drugim wieku naszej ery. Monumentalną budowlą stało się Herodium koło Jerozolimy. Był to pałac na 100 metrowym wzgórzu pośród pustyni, w którym część łaźni stanowiła sauna po raz pierwszy konstrukcyjnie zwieńczona kopułą. Kolejnym dziełem była forteca w Masadzie. Przebywała tam w oblężeniu rodzina Heroda, która ocalała dzięki opadom deszczu. Deszcz zapewnił wodę pitną oblężonym i spowodował odstąpienie oblegających. Na pamięć o tym „cudzie” Herod rozkazał wykuć w skałach 20 zbiorników, tzw. cystern wodnych, o łącznej pojemności 40.000 m³, które zasilane były wodą deszczową z gór, doprowadzaną dwoma akweduktami. W ten sposób załoga twierdzy była uodporniona na braki wody w porze suszy pustynnej [109]. Ta mroczna w dziejach chrześcijaństwa postać przyczyniła się do rozbudowy świątyni w Jerozolimie, której pozostałością jest ściana płaczu. Jego dokonania w zakresie szeroko rozumianej gospodarki wodnej na stałe zapisały się w rozwój cywilizacyjny ludzkości.

W drugiej połowie XX wieku wydarzyło się wiele poważnych awarii i katastrof związanych z funkcjonowaniem wodociągów publicznych w aglomeracjach miejsko-przemysłowych. Procesy globalizacji na początku XXI wieku spowodowały, że wiadomości o nich błyskawicznie obiegają świat w informacjach środków masowego przekazu. Znakiem czasów była pierwsza transmisja „na żywo” z przebiegu awarii magistrali wodnej w miejscowości Bethesda – Stan Maryland w USA, która miała miejsce w godzinach porannych 23.12.2008 roku. Wiele stacji telewizyjnych w USA przerwało nadawanie programów, a za pośrednictwem łączy satelitarnych akcję ratowniczą obserwował cały świat. W bezpośrednim pobliżu drogi łączącej luksusowe posiadłości na przedmieściach Waszyngtonu z centrum stolicy USA pękł rurociąg o średnicy 66 cali (~1675 mm). Fragment drogi w obszarze lesistym zamienił się w rwący potok, w którym utknęło kilkanaście samochodów z ludźmi. Do ratowania uwięzionych w samochodach 15 osób użyto śmigłowca. Cała akcja zakończyła się po kilkudziesięciu minutach bez strat w ludziach. W ten sposób ta spektakularna awaria techniczna na tranzyście wody do stolicy USA przeszła do historii globalnego przekazu informacji o zdarzeniach niepożądanych, jakkolwiek samo usuwanie awarii nie było pokazywane w bezpośredniej transmisji. Ta krótka relacja stała się przyczynkiem do rozważań na temat istoty ryzyka występującego w wodociągach publicznych.

Raport Światowego Forum Wody wskazuje, że wynikiem zmian klimatycznych będzie wzrost niedoboru wody na świecie. Wzrost zanieczyszczeń i temperatury wody spowoduje pogorszenie się jakości wody do spoży-

cia. Ocenia się, że każdej doby prawie 6.000 ludzi (głównie dzieci) cierpi na choroby biegunkowe, a rocznie 2,2 miliona umiera na choroby powstałe w wyniku spożywania zanieczyszczonej wody i złych warunków sanitarnych. Raport podkreśla potrzebę redukcji ryzyka, jako integralnej części gospodarowania zasobami wodnymi. O ile liczba katastrof geofizycznych (trzęsienia ziemi, usuwiska ziemi i lawiny błotne) utrzymuje się na stałym poziomie, to liczba kataklizmów związanych z wodą (powodzie, tsunami, susze) podwoiła się od 1996 roku. Wskutek tych kataklizmów w ostatniej dekadzie straciło życie 650.000 ludzi [48].

Międzynarodowe standardy klasyfikują obszary badań naukowych nad bezpieczeństwem i ryzykiem następująco [106]:

- RAM (ang. Risk Assessment and Management)
- ESR (ang. Engineering, Safety and Reliability)
- EER (ang. Environmental and Ecological Risk)
- HR (ang. Health Risk)
- REL (ang. Risk in Everyday Life)
- TR (ang. Technological Risk)
- NH (ang. Natural Hazard)
- PR (ang. Political Risk).

Twórca probabilistycznych metodologii analizy bezpieczeństwa obiektów technicznych, F.R. Framer, stwierdził, że ryzyko zależy nie tylko od ciężkości i rozległości możliwych awarii, ale także od prawdopodobieństwa ich wystąpienia [111]. Ryzyko może być uznane za tolerowane (kontrolowane), gdy rosnącej stracie odpowiada zdecydowanie malejące prawdopodobieństwo wystąpienia poważnej awarii lub katastrofy [113]. „Filozofia Głębokiej Obrony” (ang. Defence in Depth Philosophy) polega na stosowaniu wielokrotnych barier zabezpieczeń fizycznych, technicznych, proceduralnych i organizacyjnych. Uruchomienie każdej bariery powoduje reakcje na lokalnych poziomach bezpieczeństwa systemu [103, 169, 233].

Funkcjonowanie systemu zaopatrzenia w wodę (SZW) jest obarczone ryzykiem. Kluczowe w analizie ryzyka jest określenie miejsca występowania ryzyka, jego wielkości oraz działań mających na celu jego ograniczenie lub wyeliminowanie [98]. Działania związane z badaniem tych relacji, to zarządzanie ryzykiem. Powinno ono mieć charakter zorganizowany i kompleksowy, zarówno w odniesieniu do całego SZW, jak i jego otoczenia [21, 85, 88,

99, 114, 121, 122, 123, 174]. Zawsze bowiem istnieje możliwość pojawienia się efektu domina, czyli zdarzeń związanych z eskalacją ryzyka [134, 157].

Podstawowym celem zarządzania ryzykiem jest zwiększenie bezpieczeństwa funkcjonowania SZW [98, 145]. W przeciwnym wypadku pozostaje oczekiwanie na wystąpienie niepożądanych zdarzeń. Podstawą procesu zarządzania ryzykiem jest rozpoznanie zagrożeń. Efektywne zarządzanie bez tej wiedzy jest bowiem praktycznie niemożliwe. Bezwzględnie najważniejsze jest rozpoznanie zagrożeń technicznych [115]. Poza tym należy zwrócić uwagę na czynnik ludzki (operator–dyspozytor SZW), środowiskowy oraz na struktury organizacyjne i wzajemne powiązania między nimi. Dopiero takie podejście gwarantuje uniknięcie tzw. niezidentyfikowanego ryzyka [176]. W przypadku tzw. ryzyka czystego, związanego z funkcjonowaniem SZW, zostały wypracowane standardowe schematy działań. Rozwiązania standardowe w zakresie ochrony i bezpieczeństwa SZW powinny być adekwatne do możliwych zagrożeń. Przykładowo, stacje osłonowo-ostrzegawcze powinny chronić ujęcia wód powierzchniowych dużych aglomeracji miejskich w wypadku udokumentowanych potencjalnych lub historycznych zagrożeń. Źródłem takich zagrożeń są duże oczyszczalnie ścieków, żeglowne rzeki, szlaki transportowe w pobliżu rzeki (linie kolejowe, autostrady – możliwość karamboli środków transportu przewożących substancje niebezpieczne) [117].

Rozpoznanie ryzyka odbywa się w dwóch etapach: identyfikacji ryzyka oraz oceny jego znaczenia. W fazie identyfikacji nie należy kierować się znaczeniem ryzyka, ale trzeba dążyć do stworzenia jego katalogu [102]. Dopiero po rozpoznaniu ryzyka dokonuje się jego oceny według skali trój- bądź pięciostopniowej [156].

Do efektywnego i skutecznego zarządzania ryzykiem konieczne jest zbieranie informacji statystycznych o możliwych zagrożeniach, które mogą zaburzyć bezpieczeństwo funkcjonowania SZW. Zakres, dokładność oraz aktualność informacji o zagrożeniach ma kluczowe znaczenie w podejmowaniu działań zapobiegawczych i zaradczych związanych z redukcją ryzyka [110, 112]. Z praktyki wynika, że profesjonalnie przedstawiona analiza ryzyka prowadzi do zmiany podejścia menadżerów i operatorów SZW do problematyki bezpieczeństwa. Oprócz waloru edukacyjnego, powoduje także aktywne współtworzenie scenariuszy awaryjnych [1, 24, 131, 175, 184, 211, 214].

Oceny zagrożeń i poziomu bezpieczeństwa SZW oparte są o bazy istotnych informacji kryterialnych, które są niezbędne w procesach podejmowania decyzji, optymalizacji procesów, eksploatacji i sterowania syste-

mami, a także w podejmowaniu działań ochronnych zapobiegających wystąpieniu niekorzystnych skutków zdarzeń [91, 238, 239].

Krajowe i światowe uregulowania prawne, demokratyzacja życia publicznego, wymagają dostosowania i rozwijania metod badawczych związanych z bezpieczeństwem funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę (SZW). Znaczenia nabierają terminy „bezpieczeństwo” i „ryzyko”, które powszechnie są używane w różnych aspektach praktyki dnia codziennego. Centralizacja produkcji wody i usług z tym związanych, masowe spożycie wody wodociągowej, oczekiwania konsumentów – czysta, zdrowa, smaczna woda – stanowią wyzwanie dla nauki i techniki, szczególnie w obliczu nadzwyczajnych zdarzeń niepożądanych i niespotykanych dotąd zagrożeń terrorystycznych. Wnioski z historii poszczególnych awarii masowego skażenia wody wodociągowej w aglomeracjach miejskich są drogowskazem dla aktywnego zarządzania ryzykiem [56, 93, 118, 213]. W tej sytuacji znaczenia nabiera wypracowanie procedur redukcji ryzyka i narzędzi wsparcia decyzji, opartych na analizach i ocenach ryzyka towarzyszącego funkcjonowaniu SZW, z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju. Paradygmatem staje się teza: chcemy żyć i spożywać bezpieczną wodę, w warunkach spokoju i pewności, w przekonaniu o braku ryzyka lub o skutecznej przed nim ochronie [224, 231]. W specjalistycznej literaturze naukowej wyraźnie akcentowane są poglądy, że metody ilościowej analizy i oceny ryzyka stanowią podstawę zarządzania bezpieczeństwem SZW [63, 137]. W kraju obowiązują w tym zakresie odnośne unormowania Unii Europejskiej [242 – 281]

Rozpoznanie istoty ryzyka pozwoliło na podjęcie problematyki związanej z jego zarządzaniem w celu zwiększenia bezpieczeństwa SZW [196]. Społeczności postrzegają bezpieczeństwo w sposób uniwersalny, jako wykluczenie zdarzeń niepożądanych, a w odniesieniu do ewentualności wystąpienia takiego zdarzenia oczekują minimalizowania negatywnych skutków do stopnia akceptowalnego [213, 241]. Uważa się, że wobec komfortu bezpieczeństwa wszyscy powinni być równi, a jego zapewnienie w uogólnionym standardzie spoczywa na władzy publicznej [225]. Jednak takie podejście nie jest wolne od wad i może nasuwać różne wątpliwości w zależności od rodzaju zdarzenia niepożądanego. Przeanalizować to można na przykładzie spożywania wody z wodociągu publicznego przez konsumenta [203]. Załóżmy, że spożył on wodę bezpośrednio z domowego kranu i nabawił się dolegliwości gastrycznych. W tym wypadku można domniemać, że winę ponosi konsument – nie spożył wody po przegotowaniu. Stosowane procesy uzdatniania wody, jej dezynfekcja, monitoring jakości, nie uchroniły konsumenta przed uszczerbkiem na zdrowiu. Nasuwa się pytanie, czy firma wodociągowa i służby kontrolujące jakość wody zrobiły wszystko w zakresie

bezpieczeństwa? Odpowiedź jest pozytywna, wypełnienie standardów dostawy wody przez wodociąg publiczny zostały spełnione, a wymóg spożycia przegotowanej wody jest gwarancją jej bezpieczeństwa zdrowotnego. Decyzję o spożyciu nieprzegotowanej wody podjął osobiście konsument, nie biorąc pod uwagę okoliczności towarzyszących tej decyzji. Ryzyko zachorowania konsument wziął na siebie, bez względu na obiektywne zabezpieczenia normatywne. Okazuje się, że odpowiedzialni za jakość wody w wodociągu publicznym, przy obecnym stanie techniki, nie mogą odpowiadać za indywidualną decyzję jego użytkownika, ale wymagane jest od nich wypełnianie procedur ustalonych w unormowaniach dotyczących jakości wody pitnej pobieranej z wodociągu. Reasumując to krótkie rozważanie można stwierdzić, że z jednej strony człowiek podejmuje indywidualne decyzje związane z możliwością stworzenia zagrożenia lub ochrony przed nim (spożywa nieprzegotowaną lub przegotowaną wodę), z drugiej strony istnieją wymagania wspomagające ochronę bezpieczeństwa zdrowotnego konsumenta (organy kontrolujące jakość wody, procesy technologiczne jej uzdatniania, dezynfekcji, itp.) [2, 3, 47, 75, 80, 89, 100, 144, 180, 190, 194].

Konsumenci wody korzystający z wodociągu publicznego mają prawo do informacji o jakości wody, zgodnie z przepisami o dostępie do informacji publicznej. Informacja taka powinna zawierać:

- dane o przekroczeniach dopuszczalnych wartości parametrów jakości wody oraz związanych z nimi zagrożeniach zdrowotnych;
- dane o pogorszeniu jakości wody pod względem organoleptycznym;
- zalecenia minimalizujące zagrożenia dla zdrowia;
- informacje o możliwościach poprawy jakości wody przy użyciu środków dostępnych dla konsumentów;
- informacje o harmonogramie przedsięwzięć naprawczych.

Można więc postawić tezę, że istnieją indywidualne obszary podejmowania decyzji w zakresie bezpieczeństwa, na które nie ma wpływu „zewnątrzna władza publiczna”. Dotyczy to bezpiecznych lub niebezpiecznych zachowań jednostki – konsumenta wody pitnej. Zewnętrzne systemy ochrony i zabezpieczeń pełnią jedynie funkcję wspomagającą w obszarze indywidualnych aktywności człowieka związanych z podejmowaniem decyzji.

Filozofia zorientowana na klienta spowodowała zmianę podejścia w warunkach gospodarki wolnorynkowej z podejścia „cena = koszt + zysk”

na „zysk = cena – koszt”. Matematycznie rzecz biorąc, nic się nie zmieniło, ale drugi wariant pozwala na manewrowanie wartością zysku [98]. W rozmowaniu Amerykanów usterka, wada, awaria, to jest coś, co nie powinno wystąpić. Rzeczą naturalną jest, że wodociąg funkcjonuje poprawnie i woda jest dostępna w dowolnej chwili w mieszkaniu. Dopiero z chwilą, gdy jej z jakiegoś powodu zabraknie, ze zdumieniem zauważa się, że wodociąg to coś, co istnieje. Amerykanie w sposób znaczący przyczynili się do współczesnego rozumienia jakości i bezpieczeństwa systemów technicznych, poprzez:

- organizację produkcji seryjnej;
- wprowadzenie metod statystycznych do kontroli produkcji seryjnej;
- rozwój przemysłu nuklearnego i programów lotów kosmicznych, który wymusił strategię „zero błędów”, co pozwoliło na rozwój metod analiz ryzyka (FMEA) i wymagań (HACCP).

Profil naukowy Katedry, którą Autor kieruje na Politechnice Rzeszowskiej, oraz Prowadzone przez niego prace badawcze związane z niezawodnością i bezpieczeństwem SZW, pozwoliły na nawiązanie kontaktów z Sekcją Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn PAN, pod patronatem której odbywają się corocznie Zimowe Szkoły Niezawodności. Czynne uczestnictwo w tych spotkaniach pozwala na bieżąco śledzić rozwój dyscypliny naukowej związanej z niezawodnością i bezpieczeństwem systemów technicznych. Warto w tym miejscu przytoczyć tematyki szkół z ostatnich lat:

XXVII Szkoła (1999) – Metody sieciowe w inżynierii niezawodności

XXVIII Szkoła (2000) – Problemy decyzyjne w inżynierii niezawodności

XXIX Szkoła (2001) – Komputerowo wymagana analiza niezawodności systemów

XXX Szkoła (2002) – Niezawodność systemów

XXXI Szkoła (2003) – Metody prognozowania w inżynierii niezawodności

XXXII Szkoła (2004) – Nadmiarowość w inżynierii niezawodności

XXXIII Szkoła (2005) – Metody badań przyczyn i skutków uszkodzeń

XXXIV Szkoła (2006) – Niekonwencjonalne metody oceny trwałości i niezawodności

XXXV Szkoła (2007) – Problemy niezawodności systemów

XXXVI Szkoła (2008) – Metody utrzymania gotowości systemów

XXXVII Szkoła (2009) – Niezawodność systemów antropotechnicznych.

W obecnie obowiązującej systematyce własności systemów technicznych niezawodność identyfikowana jest z pewnością działania (ang. dependability). Określana jest przez bezpieczeństwo (ang. safety), którą opisują: nieszkodliwość (ang. harmlessnes), niezagrożalność (ang. hazardousness) i ochronialność (ang. security), oraz przez gotowość (ang. availability), którą opisują: nieuszkodzalność (ang. reliability), obsługiwalność (ang. maintainability), nadmiarowość (ang. redundancy), integralność (ang. integrity) i poufność (ang. confidentiality) [153, 205]. Dla wielu przemyśleń naukowych zawartych w tej monografii inspiracją były publikacje prezentowane podczas poszczególnych Szkół Niezawodności organizowanych w latach 1999-2009 oraz następujących konferencji zajmujących się tą problematyką:

- Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych oraz grzewczych,
- Bezpieczeństwo i trwałość budowli wodnych,
- Bezpieczeństwo i zagrożenia współczesnego świata,
- Zagadnienia bezpieczeństwa wodnego,
- Problemy szacowania zagrożeń powodziowych i narzędzia wspomagające ich rozwiązanie,
- Strategiczny program zabezpieczeń przeciwpowodziowych,
- Informatyka w zarządzaniu w sytuacjach kryzysowych,
- Eksploatacja infrastruktury w sytuacjach kryzysowych,
- Bezpieczeństwo życia na morzu i ochrona środowiska morskiego,
- Współczesne problemy bezpieczeństwa pożarowego w budownictwie i inżynierii środowiska,
- Nadzwyczajne zagrożenia i ryzyko w środowisku,
- Zarządzanie bezpieczeństwem procesów przemysłowych,
- Zachowanie się w sytuacji ryzyka,
- Bezpieczeństwo i niezawodność systemów,

-
- Niezawodność i bezpieczeństwo systemów technicznych,
 - Bezpieczeństwo systemów,
 - Analiza ryzyka i zarządzanie bezpieczeństwem w systemach technicznych,
 - Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy w przedsiębiorstwie,
 - Strategie zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie,
 - Podstawy metod oceny ryzyka zdrowotnego,
 - Współczesne problemy ekstremalnych zagrożeń środowiska,
 - Bezpieczeństwo energetyczne Polski w kontekście odnawialnych źródeł energii,
 - Bezpieczeństwo miasta - nowe idee,
 - Bezpieczeństwo narodowe i zarządzanie służbami ochrony,
 - Zarządzanie bezpieczeństwem – wyzwania XXI wieku,
 - Bezpieczeństwo człowieka a wartości,
 - Bezpieczeństwo wewnętrzne we współczesnym państwie,
 - Przestrzeganie zasad bezpieczeństwa we współczesnej społeczności lokalnej,
 - Współczesne dylematy bezpieczeństwa w teorii i praktyce,
 - Jakość i bezpieczeństwo żywności,
 - Zarządzanie kryzysowe – inżynieria bezpieczeństwa,
 - Współczesne postrzeganie bezpieczeństwa,
 - Bezpieczeństwo i zarządzanie kryzysowe,
 - Niezawodność instalacji i bezpieczeństwo,
 - Bezpieczne żywienie,
 - Bezpieczeństwo człowieka a wielokierunkowość,
 - Bezpieczeństwo publiczne,
 - Człowiek i technika w systemach bezpieczeństwa i ochrony,

- Bezpieczeństwo mikrobiologiczne produkcji żywności,
- Współczesne i przyszłe zagrożenia bezpieczeństwem,
- Logistyka i bezpieczeństwo transportu,
- Bezpieczeństwo pracy – edukacja – środowisko,
- Biogaz a bezpieczeństwo energetyczne Polski,
- Zagrożenia fizyczne, chemiczne i biologiczne dla bezpieczeństwa środowiska i zdrowia człowieka,
- Bezpieczeństwo systemów energetycznych,
- Bezpieczeństwo – wymiar współczesny oraz perspektywy badań,
- Katastrofy naturalne i cywilizacyjne,
- Awarie budowlane,
- Bezpieczeństwo techniczne w przemyśle chemicznym,
- Zarządzanie bezpieczeństwem funkcjonalnym.

Badania nad ryzykiem w systemach technicznych obejmują klasę poznawczych oraz praktycznych metod analizy i oceny, które stanowią istotny element kompleksowych badań nad ich bezpieczeństwem. Wyróżnia się dwa nurty tych badań, a mianowicie:

- analizę ryzyka, gdzie modele szacujące stanowią podstawę budowy modeli decyzyjnych,
- inżynierię ryzyka, gdzie ocena wariantów projektowych pod względem bezpieczeństwa jest podstawą wyboru rozwiązania najkorzystniejszego.

Poznawczy aspekt badań nad ryzykiem wiąże się z przyjęciem tezy, że ryzyko jest cechą systemową i charakteryzuje system, jako całość, odzwierciedlając wszystkie aspekty jego funkcjonowania i rozwoju. Natomiast aspekt praktyczny wynika z możliwości posługiwania się narzędziem metodologicznym, jakim są metody analizy i oceny ryzyka w procesie projektowania i eksploatacji SZW.

Zasadniczym celem pracy jest wskazanie metod identyfikacji i oceny ryzyka związanego z funkcjonowaniem SZW. Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły wskazać obszary i instrumenty skutecznie ograniczające ryzyko.

Realizacja tak postawionego celu wymaga:

- uporządkowania pojęć i zagadnień związanych z ryzykiem,
- dokonania systematyzacji metod stosowanych w zarządzaniu ryzykiem w zaopatrzeniu w wodę poprzez wodociągi publiczne,
- wskazania empirycznej użyteczności opracowanych metod analizy i oceny ryzyka,
- określenia aktualnego stanu praktyki ograniczania ryzyka,
- szczegółowej prezentacji metod pomiaru narażenia SZW na ryzyko i wskazania niezbędnych procedur eksploatacyjnych w celu zabezpieczenia przed ryzykiem nieakceptowalnym.

Pozwoliło to na postawienie następującej tezy pracy: Zastosowanie procedur ograniczenia ryzyka w SZW wymaga posługiwania się metodami ilościowymi oceny ryzyka, zgodnie z zasadą, że „istnienie niechcianego ryzyka wymusza poszukiwanie metod, które ograniczałyby jego obecność”.

Monografia jest adresowana do zarządzających eksploatacją SZW w przedsiębiorstwach wodociągowych, środowiska naukowego, doktorantów i studentów wyższych uczelni technicznych i uniwersytetów, pracowników firm projektowych i praktyków technologii uzdatniania wody, sieci wodociągowych oraz instalacji wewnętrznych.

6. Zasady postępowania w obliczu ryzyka

6.1. Mechanizmy powstawania zdarzeń niepożądanych

6.1.1. *Zmiana stanu równowagi*

W okresie normalnej eksploatacji system znajduje się w stanie równowagi trwałej. W czasie eksploatacji pojawiają się zaburzenia, które skutkują przejściem do stanów chwiejnych systemu. System z tego rodzaju stanów stara się przejść do stanu równowagi stabilnej. Jeżeli tym nowym stanem równowagi jest stan niepożądany (destrukcyjny), to efektem tego przejścia są straty wewnątrz systemu lub w jego otoczeniu. Przebywanie systemu w stanie chwiejnym należy interpretować ze stanem zagrożenia, ujemne zaburzenie stanu chwiejnego powoduje w sposób nieunikniony przejście do stanu niepożądanego (awaryjnego). Ten sposób rozumowania wykorzystuje matematyczna teoria katastrof. Przemiany nieliniowe zmieniające się w sposób skokowy zmieniają właściwości analizowanego systemu. Warunkiem korzystania z aparatu matematycznego teorii katastrof jest wymóg opisanie stanów systemu formułami różniczkowymi. Katastroficznej (skokowej) zmianie stanu systemu odpowiada zmiana typu różniczkowej funkcji modelującej. Trudnością w tym zakresie jest adekwatność zapisu różniczkowego stanów systemu [37, 50].

6.1.2. *Koincydencja niezależnych czynników*

Rekonstrukcje wielu awarii technicznych wskazują, że nałożenie się w czasie i przestrzeni określonych niezależnych czynników jest przyczyną ich występowania. Mechanizm koincydencji wykorzystywany jest w analizach systemowych zdarzeń niepożądanych. Metody możliwe do zastosowań to: analiza błędów (ETA), analiza drzewa zdarzeń (FTA) oraz analiza przyczyn i skutków (CCA) [54]. Zarządzanie ryzykiem ma za zadanie unikanie stanów koincydencji poprzez separację czasowo-przestrzenną czynników kolizyjnych.

Zarządzanie ryzykiem w SZW ma za zadanie koordynację pracy systemu Multibariera poprzez [60, 137, 146, 169]:

- monitoring wczesnego, opóźnionego i późnego wykrywania zanieczyszczeń incydentalnych wody,
- sterowanie procesami technologicznymi uzdatniania wody,
- monitoring hydrauliczny pracy sieci wodociągowej,
- podejmowania decyzji o uruchomieniu alternatywnych źródeł dostawy wody,
- właściwy przepływ strumienia informacji na linii producent – konsument.

6.1.3 Niewłaściwe współdziałanie obiektów

Zakłada się, że sygnał dowolnej natury ma znaczenie diagnostyczne dla bezpieczeństwa systemu. Takie przyjęcie prowadzi do rozpatrywania detekcji sygnału. Możliwe jest popełnienie błędów I i II rodzaju [141]. Brak detekcji sygnału związany jest z błędem I rodzaju. Fałszywa detekcja sygnału, który w rzeczywistości nie wystąpił, związana jest z błędem II rodzaju. Oba rodzaje błędów prowadzą do niewłaściwego współdziałania obiektów systemu, a w rezultacie prowadzi to do utraty bezpieczeństwa. Tego rodzaju mechanizmy powstawania zdarzeń niepożądanych mają przede wszystkim miejsce w sytuacjach, gdy napływ informacji ma charakter ciągły, a proces decyzyjny jest dyskretny w czasie. Sygnałami diagnostycznymi mogą być:

- parametry kontrolne prowadzonego procesu uzdatniania wody
- ostrzegawcze sygnały o niesprawności urządzeń
- błędy decyzyjne operatora.

Podstawowym mechanizmem przeciwdziałania jest ciągły monitoring [139, 209, 223, 235]. Towarzyszą mu stany zawodnościowe związane z brakiem alarmów lub alarmami fałszywymi [134].

6.1.4. Przemieszczanie zagrożenia

Jeżeli pomiędzy źródłem zagrożenia a obiektem zagrożonym istnieje różnica potencjału (ciśnienia, temperatury, stężenia), to możliwy jest przepływ nośnika zagrożenia ze źródła do obiektu. Natężenie przepływu zagrożenia jest wprost proporcjonalne do różnicy potencjałów, a odwrotnie proporcjonalne do zdolności obronnych (oporu przepływu). Mechanizm taki nadaje się do opisu i analizy zagrożeń pochodzących od sił natury i zagrożeń

emisji przemysłowych. Przeciwdziałania ochronne polegają na neutralizacji nośnika zagrożenia poprzez różnego rodzaju bariery, ekrany, filtry itp., które powinny spowalniać (odbijać) przemieszczające się zagrożenie [160, 170, 179, 192, 209].

6.1.5. Strategia konfliktu

Istnieje kategoria zdarzeń niepożądanych, których istota wynika ze strategii działania i podejmowania decyzji [136, 199]. Działania ryzykowne związane są z realizacją celu sprzecznego z celem strony przeciwnej. Za przeciwnika uznaje się obiekty, urządzenia, siły natury itp. Sytuacja sprzeczności celów prowadzi do konfliktu, a poszukiwanie rozwiązania konfliktu jest swego rodzaju grą (zgodnie z teorią gier). Parametrami gry są:

- strategię graczy
- poziom akceptowanego ryzyka, który jest proporcjonalny do stopnia niewiedzy o strategiach przeciwnika
- poziom przegranej, która w badaniach nad bezpieczeństwem identyfikowana jest z poziomem ciężkości awarii.

W literaturze tematu powszechnie znane są gry ze stanami natury. Możliwość uwzględnienia czynnika strat finansowych powoduje, że schemat ten znajduje zastosowanie w analizach ryzyka [105, 119, 152].

6.1.6. Emergencja destruktywnych cech

Wzrost złożoności systemów technicznych generuje nowe nieznanne dotąd cechy i właściwości [73, 74]. Fenomen ten nosi nazwę emergencji i może dawać efekt pozytywny i negatywny. Przykłady niebezpiecznych emergencji związane są ze współczesną cywilizacją informatyczną (przestępczość komputerowa), zjawiskami społecznymi (terroryzm), czy mutacjami mikroorganizmów chorobotwórczych. Bezpieczeństwo systemu technicznego można zdefiniować, jako cechę emergentną utożsamianą z odpornością systemu na zakłócenia. Emergencja objawia się przede wszystkim w systemach miękkich (soft), o dużej rozmytości struktury, celów działania i oddziaływań zewnętrznych. Ochrona polega na predykcji przekroczeń progów emergencji w celu uzyskania możliwości przeciwdziałania tego typu zdarzeniem niepożądanym [76, 77].

6.2. Jakościowe rozważania nad percepcją ryzyka

Wyniki badań w ramach psychologicznej teorii decyzji stwierdzają, że percepcja ryzyka przez człowieka jest wypadkową czynników poznawczych,

osobowościowych i emocjonalnych [171]. Ocena ryzyka zależy także od rodzaju ryzyka, z jakim człowiek ma do czynienia. Stwierdzono, że angażowanie się w działania na rynku finansowym wywołują odmienne doznania emocjonalne, niż podejmowanie działań związanych z zagrożeniem zdrowia lub życia. Badania jakościowe percepcji ryzyka pozwoliły na ustalenie pewnych reguł z tego zakresu [156]:

- Na ocenę ryzyka wpływa stopień obycia człowieka z danym zdarzeniem niepożądanym. Czynności, których człowiek nigdy nie wykonywał, są dla niego znacznie trudniejsze niż procedury, w których nabrał już wprawy a nawet rutyny.
- Posiadana wiedza człowieka o negatywnych skutkach zdarzeń niepożądanych ma wpływ na ocenę ryzyka. Posiadanie stosownych informacji wpływa na aktywne poszukiwanie oraz wyczulenie na symptomy sytuacji niebezpiecznej w celu uniknięcia błędu i sprokurowanie zdarzenia niepożądanego.
- Na ocenę ryzykownych działań ma wpływ wielkość negatywnych konsekwencji. Im są one większe, tym większe ryzyko przypisywane działaniom potencjalnie z nim związanymi. Człowiek identyfikuje się z najbardziej niekorzystnymi scenariuszami. Z tego powodu w analizach i ocenach ryzyka przez ekspertów podaje się liczbę osób poszkodowanych (utrata zdrowia, zejścia śmiertelne), obniżenie średniego czasu życia człowieka itp.
- Człowiek w znacznym stopniu przecenia ryzyko działań narzuconych, a nie dowartościowuje ryzyka działań dobrowolnych.
- Człowiek w mniejszym stopniu docenia zagrożenia, których negatywne skutki mogą pojawić się w odległej, trudnej do przewidzenia przyszłości.
- Ryzyko ma charakter katastroficzny lub chroniczny. Człowiek uwrażliwiony jest na przestrzeganie ryzyka katastroficznego, ale w długim okresie czasu, jak wykazują badania, większe jest ryzyko chroniczne, co nie jest należycie doceniane.
- Możliwość wprowadzenia działań korygujących obniża poziom subiektywnego odbierania ryzyka.
- Poziom lęku ma istotne znaczenie na wielkość postrzeganego ryzyka.

Ogólnie w ujęciu jakościowym percepcji ryzyka wyróżnia się trzy podstawowe grupy czynników. Są to: czynnik ryzyka nieznanego, czynnik

liczby osób narażonych na niebezpieczeństwo, czynnik ryzyka wzbudzającego lęk [154, 208].

6.3. Relacja zagrożenie techniczne – bezpieczeństwo techniczne

Zagrożenie techniczne (ZT) jest funkcją rosnącą negatywnego oddziaływania (NO) obiektu technicznego (OT) na otoczenie:

$$ZT = f_{ZT}(NO) \quad (22)$$

Bezpieczeństwo techniczne (BT) jest funkcją malejącą szkód (Sz), powstałych wskutek negatywnego oddziaływania OT na otoczenie:

$$BT = f_{BT}(Sz) \quad (23)$$

Z tak zdefiniowanych wielkości wynikają następujące współzależności [124]:

- właściwości funkcji f_{ZT} :
 - jeżeli $NO_i < NO_j$, to $ZT_i < ZT_j$
 - jeżeli $NO_i = NO_j$, to $ZT_i = ZT_j$
 - jeżeli $NO_i > NO_j$, to $ZT_i > ZT_j$
- właściwości funkcji f_{BT} :
 - jeżeli $Sz_i < Sz_j$, to $BT_i > BT_j$
 - jeżeli $Sz_i = Sz_j$, to $BT_i = BT_j$
 - jeżeli $Sz_i > Sz_j$, to $BT_i < BT_j$

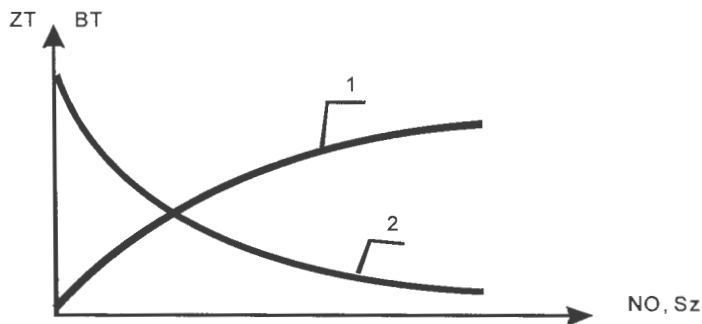
Z teoretycznego punktu widzenia obowiązuje:

$$0 \leq NO < \infty \quad \text{i} \quad 0 \leq Sz < \infty$$

Na rys. 5 pokazano przykładowe przebiegi funkcji zagrożenia technicznego „1” i bezpieczeństwa technicznego „2”.

Z praktyki eksploatacyjnej i danych historycznych innych tożsamych OT wynika, że górne granice obu prawostronnie otwartych przedziałów posiadają kresy górne, co można zapisać:

$$0 \leq NO \leq NO_{\max} \quad \text{i} \quad 0 \leq Sz \leq Sz_{\max} \quad (24)$$



Rys. 5. Przebiegi funkcji $ZT = f_{ZT}(NO)$ i $BT = f_{BT}(Sz)$.

Wartość $NO = 0$ oznacza minimalną wartość zagrożenia technicznego $ZT = ZT_{\min}$, często identyfikowane z praktycznie zerowym zagrożeniem, a $NO = NO_{\max}$ oznacza maksymalne możliwe $ZT = ZT_{\max}$.

W wypadku $Sz = 0$ uzyskuje się maksymalną praktycznie możliwą wartość $BT = BT_{\max}$, często identyfikowaną z absolutnym bezpieczeństwem, a $Sz = Sz_{\max}$ oznacza minimalną wartość $BT = BT_{\min}$.

Przedstawione rozważania prowadzą do wniosku, że wielkość NO jest miarą zagrożenia technicznego, a wielkość Sz stanowi miarę bezpieczeństwa technicznego. Na drodze statystycznej można określić probabilistyczne miary zagrożenia technicznego (ZT_p) i bezpieczeństwa technicznego (BT_p). Miary te można identyfikować z ryzykiem powstania szkód i ryzykiem negatywnego oddziaływania [155, 178, 189, 198].

6.4. Metodologiczny aspekt zarządzania bezpieczeństwem

Najbardziej lapidarną definicję bezpieczeństwa podaje Słownik Oxfordzki: „wolność od zagrożeń i ryzyka”. Wynika z tego, że zabezpieczenie się przed ryzykiem, bądź zmniejszenie go do tzw. ryzyka resztkowego, jest podstawowym synonimem bezpieczeństwa, tym bardziej, że zagrożenie można uznać za stan odwracalny [49].

Brytyjski uczyony F.R. Framer, pionier nauki o bezpieczeństwie, postawił tezę, że żadna instalacja techniczna nie może być rozpatrywana, jako całkowicie wolna od ryzyka, a tak zwane nieprawdopodobne awarie często składają się z zupełnie zwyczajnych zdarzeń”. Na interpretacji bezpieczeństwa ciąży stereotyp pojmowania zagrożenia. Wszelkie zdarzenia niepożą-

dane (anomalie, incydenty, wypadki, awarie, katastrofy, kataklizmy) są uznawane za nienormalne, ponieważ stoją w sprzeczności z uniwersalną potrzebą człowieka poczucia bezpieczeństwa. Wielu badaczy skłania się do paradoksalnego stwierdzenia, że są to stany normalne, aczkolwiek niepożądane, które z natury występują w systemach. Taką tezę potwierdzają doniesienia eksploatacyjne o permanentnym pojawieniu się tych stanów. Stanom niepożądanym należy umieć się przeciwstawiać, co wydaje się być podstawową zasadą kontrolowania bezpieczeństwa. Filozofia takiego podejścia wynika z fundamentalnej zasady funkcjonowania przeciwieństw, które w rozpatrywanym obszarze techniki rodzą zagrożenia [191]. Przykładowo:

- elementy tworzą całość, rozpad całości powoduje dezintegrację struktury systemu
- regularność – chaos, który powoduje utratę przez system zdolności pełnienia ściśle zdefiniowanej funkcji
- współdziałanie – walka, w wyniku której powstają konflikty i kryzysy.

Zarządzanie bezpieczeństwem systemu zaopatrzenia w wodę (SZW), to zarządzanie przez założone cele w ujęciu systemowym. Realizowane jest ono według zasady „głębokiej obrony” (ang. *Demence In Depta*), polegającej na [63, 65, 161, 201]:

- minimalizacji ryzyka awarii (profilaktyka)
- minimalizacji liczby awarii (działanie aktywne)
- minimalizacji skutków awarii (działanie pasywne).

Zarządzanie bezpieczeństwem w SZW w sensie operacyjnym sprowadza się do zarządzania ryzykiem [53, 64, 219]. Podejście *ex ante* bazuje na proaktywnej koncepcji unikania lub znaczącej redukcji skutków wystąpienia zdarzeń niepożądanych. Jest to nowa strategia w stosunku do tradycyjnego podejścia *ex post*, charakteryzująca się reaktywną koncepcją wnioskowania w oparciu o informacje poawaryjne. Wyróżnia się trzy fazy zarządzania ryzykiem:

- analiza ryzyka (ang. *risk analysis*) – identyfikacja zagrożeń, oszacowanie częstości ich występowania i na tej podstawie wyznaczenie ryzyka
- ocena ryzyka (ang. *risk evaluation*) – gradacja poziomów ryzyka i na tej podstawie przypisanie uzyskanej wcześniej wartości do jednego z trzech zakresów ryzyka (tolerowane, kontrolowane i nieakceptowalne)

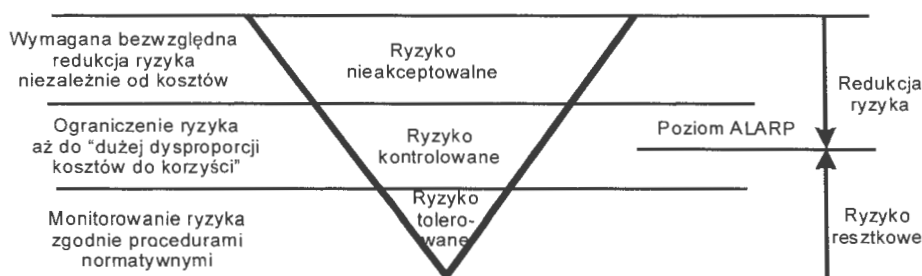
- sterowanie ryzykiem (ang. *risk control*) – podejmowanie działań w ramach dostępnych uwarunkowań ekonomicznych i społecznych, celem utrzymania ryzyka na poziomie tolerowanym.

Praktycznie dla SZW odnosi się następujące zasady bezpieczeństwa [9, 27, 62, 82, 98, 137, 143, 197]:

- w wypadkach możliwości pojawienia się ryzyka poważnych awarii SZW należy dążyć do poziomu bezpieczeństwa obowiązującego w krajach wysokorozwiniętych
- środki dla poprawy bezpieczeństwa należy lokować w miejscach, w których przyniosą najbardziej efektywne rezultaty
- żaden środek bezpieczeństwa nie jest doskonały, wobec czego wymaga się stosowania kilku barier, które powinny stanowić spójny system Multibariera
- ryzyko należy uznawać, jako kategorię ekonomiczną (ang. RCBA – *Risk Cost Benefit Analysis*) [49, 95].

6.5. Kryteria akceptowalności ryzyka

Oszacowane ryzyko wystąpienia danego zdarzenia niepożądanego porównuje się z ustaloną skalą ryzyka indywidualnego lub grupowego, a także pochodzenia naturalnego. Na rys. 6 pokazano trzy obszary ryzyka związane z istotą procedury ALARP.



Rys. 6. Istota procedury ALARP.

Poziom ryzyka ALARP (ang. *As Low As Reasonably Practicable*) tak niskiego, jak to jest praktycznie uzasadnione, wprowadzony został przez brytyjskie Heath and Safety Executive (HSE). W krajach wysokorozwiniętych maksymalny poziom ALARP w odniesieniu do ryzyka indywidualnego wynosi 10^{-6} , a grupowego 10^{-5} [87, 180].

Innym podejściem jest przyjęcie, że dopuszczalne ryzyko zejścia śmiertelnego powinno być mniejsze od limitu podanego przez HSE dla grupy wiekowej 5-14 lat. W tab. 1 zaprezentowano ryzyko śmierci w funkcji wieku według HSE [38].

Tabela 1. Ryzyko śmierci w funkcji wieku $\left[\frac{\text{liczba zgonów}}{1 \text{ mln ludzi} \cdot \text{rok}} \right]$.

Wiek w latach	Mężczyźni	Kobiety	Razem kobiety i mężczyźni
0-4	2 900	2 300	2 600
5-14	280	190	240
15-19	780	310	550
20-24	860	340	600
25-34	920	520	720
35-44	1 800	1 200	1 500
45-54	6 100	3 700	4 900
55-64	18 000	9 800	14 000
65-74	46 000	25 000	34 000
75-84	105 000	60 000	79 000
85 i więcej	220 000	180 000	190 000

Zgodnie z danymi zawartymi w tab. 1, ryzyko indywidualne wynosi średnio $2,4 \cdot 10^{-4}$ osób na rok lub mniejsze.

6.6. Strategia zarządzania bezpieczeństwem

System zaopatrzenia w wodę jest złożonym systemem antropotechnicznym działającym w zmiennych warunkach eksploatacyjnych, co implikuje zmienność wskaźników bezpieczeństwa [185, 206].

Bezpieczeństwo teoretyczne związane jest z:

- obowiązującymi przepisami prawnymi i wymaganiami technicznymi
- systemami zabezpieczającymi
- procedurami postępowania.

Bezpieczeństwo rzeczyste związane jest z:

- stanem technicznym SZW
- warunkami meteorologicznymi, możliwością dywersyfikacji dostawy wody z różnych źródeł
- efektywnością eksploatacji SZW
- systemem szkolenia załogi.

Reaktywne strategie zarządzania bezpieczeństwem zorientowane są na zapewnienie zgodności z wymaganiami standardów jakości wody i warunkami umów zawieranych między firmą wodociągową a użytkownikami wodociągów publicznych. Obecnie nową praktyką oceny stopnia spełnienia wymagań i działań w kierunku spełnienia wymagań bezpieczeństwa jest certyfikacja firm wodociągowych. Proces ten w zakresie dostawy wody obejmuje:

- procedury i środki techniczne
- organizację i metody działania
- dokumentację i instrukcje wykonawcze
- kwalifikacje załogi i programy szkolenia.

Reaktywne zarządzanie bezpieczeństwem opiera się na identyfikacji potencjalnych zagrożeń na podstawie zaistniałych zagrożeń w SZW. Ta strategia jest mało skuteczna w identyfikacji trendów i prognozowania przyszłych źródeł zagrożeń.

Proaktywne strategie zarządzania bezpieczeństwem zorientowane są na tworzeniu bazy danych zdarzeń niepożądanych z różnych źródeł. Podstawowym założeniem jest fakt, że ryzyko można zredukować, zanim ono się zrealizuje. Podstawę stanowi reguła podejmowania działań w zakresie:

- identyfikacji zagrożeń
- analizy i oceny ryzyka
- zapobiegania i korygowania zagrożeń.

Analizy bezpieczeństwa wymagają identyfikacji stanów eksploatacyjnych z punktu widzenia operatora SZW. Wyróżnia się następujące stany:

S1 – wszystkie procedury są przestrzegane, operator podejmuje prawidłowe decyzje zgodnie z zaleceniami i wskazaniem podsystemów zabezpieczających przed zdarzeniami niepożądanymi, nie dochodzi do awarii

- S2 – wszystkie procedury są przestrzegane, operator uwzględnia w podejmowaniu decyzji wskazania podsystemów zabezpieczających, dochodzi jednak do awarii (stan identyfikowany z błędem II rodzaju)
- S3 – następuje naruszenie procedur, w podejmowaniu decyzji przez operatora nie uwzględnia się wskazań podsystemów zabezpieczenia, nie dochodzi do awarii (stan identyfikowany z błędem I rodzaju)
- S4 – następuje naruszenie procedur, w podejmowaniu decyzji przez operatora nie uwzględnia się wskazań podsystemów zabezpieczenia i dochodzi do awarii.

6.7. Niepewność w oszacowaniu ryzyka

Obecnie trendem badań naukowych związanych z ryzykiem jest teoria wyborów indywidualnych dokonywanych w warunkach niepewności. W warunkach pewności działania optymalizacyjne polegają na wyborze między skutkami działań w ten sposób, że wybór następstw jednoznacznie wynika z określonego sposobu działania. Taka struktura wyborów nie daje oczekiwanych, sprawdzających się wyników w warunkach niepewności. Niepewność jest niezależna od operatora podejmującego decyzje, a niejednokrotnie nie ma on na nią jakiegokolwiek wpływu. Możliwości pozyskiwania informacji, na podstawie których podejmowane są decyzje, zależą od charakteru zdarzeń. Istnieje klasa zdarzeń niepowtarzalnych, z których nie można uzyskać zadowalających informacji obiektywnych, i takie sytuacje definiuje się, jako *sensu stricte* niepewne. Klasa zdarzeń powtarzalnych, których zaistnienie można mierzyć prawdopodobieństwem, definiowana jest ryzykiem. W ten sposób procedury decyzyjne dzieli się na zupełnie niepewne (*sensu stricte*) i obciążone ryzykiem. W tym drugim przypadku, gdy znany jest rozkład zmiennej losowej, to obowiązują modele probabilistyczne, natomiast, jeżeli rozkład zmiennej losowej trzeba oszacować, to obowiązują modele statystyczne podejmowania decyzji. Panuje pogląd, że osąd osobisty (subiektywny) wywiera wpływ na podejmowanie decyzji przez operatora. W ten sposób wyróżnia się dwie klasy prawdopodobieństw, obiektywne i subiektywne. Koncepcja prawdopodobieństw subiektywnych wymaga innej interpretacji zdarzeń w porównaniu z częstościowymi prawdopodobieństwami obiektywnymi.

Prawdopodobieństwa subiektywne określa się na podstawie aksjomatów. Dysponując prawdopodobieństwami subiektywnymi przyjmuje się, jako kryterium optymalizacyjne maksymalizację oczekiwanej użyteczności. W ten sposób użyteczność staje się zmienną losową a oczekiwana użytecz-

ność pozwala na wybór spośród alternatywnych działań. Użyteczność nie zawsze należy wyrażać w jednostkach monetarnych. Teoria oczekiwanej użyteczności pozwala na budowę skal liczbowych, które umożliwiają wyrażenie indywidualnych sądów w sposób bardziej precyzyjny w myśl zasady, że jeżeli powie się „jutro szanse na słoneczny dzień wynoszą 0,7”, to jest to znacznie więcej, niż „jutro będzie słoneczny dzień”.

Jakkolwiek w publikacjach z zakresu szeroko rozumianej gospodarki wodnej z trudem przebija się przedstawiony pogląd, to trudno nie zauważać powszechności obecności ryzyka w tego rodzaju systemach technicznych [148]. Współczesna nauka lansuje tezę, że bez ryzyka i reakcji na nie znikowi uległaby ludzka świadomość oraz że zysk jest koniecznym bodźcem do podejmowania ryzyka, jak również, że prawdopodobieństwo jest wyrazem niewiedzy a ryzyko zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do tejże wiedzy [120, 126].

Reasumując, istnieją dwie koncepcje podejścia do prawdopodobieństwa:

- jest to miara stopnia przekonania (subiektywne)
- jest to miara względnej częstości (obiektywne).

6.8. Dopuszczalne ryzyko zdrowotne związane z konsumpcją wody wodociągowej

6.8.1. Bezpieczeństwo wodne w unormowaniach krajowych

Podstawowym aktem prawnym w zakresie ochrony wód przed zanieczyszczeniem jest ustawa Prawo Wodne (Ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku, Dz. U. Nr 115, poz. 1229, Nr 154, poz. 1803, oraz z 2002 roku, Nr 113, poz. 984, Nr 130, poz. 1112, Nr 233, poz. 1957 i Nr 238, poz. 2022, Nr 279, poz. 2008). Badania i ocenę jakości wód powierzchniowych i podziemnych prowadzi Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. W tym zakresie obowiązują uregulowania prawne z 2008 roku: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 roku w sprawie kryteriów i sposobu oceny wód podziemnych (Dz.U. Nr 143, poz. 896, 2008 rok) i Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 roku w sprawie sposoby klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych (Dz. U. Nr 168, poz. 1008, 2008 rok). Monitoring ilościowy wód powierzchniowych realizowany jest poprzez pomiar charakterystyczny stanów i natężeń przepływów przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 roku w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać

wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia (Dz. U. Nr 204, poz. 1728, 2002 rok), ustala trzy kategorie, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia po uprzednim jej uzdatnieniu. Zasady zaopatrzenia ludności w wodę wodociągową reguluje Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 roku o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i odprowadzaniu ścieków (Dz. U. Nr 72, poz. 746, 747). Bezpieczeństwo według tej ustawy jest to ogół warunków i działań, jakie muszą być spełnione na wszystkich etapach procesu produkcji i dostawy wody w celu zapewnienia walorów zdrowotnych dla ludzi. Sprawą wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi reguluje Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 61, poz. 417). Podaje ono szczegółową definicję bezpieczeństwa zaopatrzenia w wodę – woda jest bezpieczna dla zdrowia ludzkiego, jeżeli jest wolna od mikroorganizmów chorobotwórczych i pasożytów w liczbie stanowiącej potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego, substancji chemicznych w ilościach zagrażających zdrowiu oraz nie ma agresywnych właściwości korozyjnych i spełnia: podstawowe wymagania mikrobiologiczne (załącznik 1), podstawowe wymagania chemiczne (załącznik 2), dodatkowe wymagania mikrobiologiczne, organoleptyczne, fizykochemiczne oraz radiologiczne (załącznik 3) i dodatkowe wymagania chemiczne (załącznik 4). Nadzór nad jakością wody wodociągowej sprawują właściwe organy Państwowej Inspekcji Sanitarnej.

Jak widać z tego krótkiego przeglądu unormowań prawnych i zabezpieczeń technicznych występują praktyczne gwarancje niewystąpienia zagrożenia życia ludzi lub uszczerbku na zdrowiu związane ze spożywaniem wody wodociągowej [149]. Uważa się, że stan bezpieczeństwa związany jest z komfortem konsumenta i jest stanem intencjonalnym systemu zaopatrzenia w wodę (SZW) [28, 32, 47, 58, 66, 67, 68].

6.8.2. Pojęcie ryzyka w ujęciu Dyrektywy Seveso II

Zatrucia pokarmowe towarzyszą człowiekowi od pradawnych czasów. Zapewne drogą prób i błędów ludzie pierwotni przekazywali wiedzę współplemięcom z pokolenia na pokolenie. Ta pierwotna wiedza była podstawą higieny starożytnych cywilizacji. Problematyka sanitarna była wtedy ujmowana w kanonach religijnych, np. dotyczyła umiejscowienia studni, ustępów czy cmentarzy. Pierwsze informacje o stosowaniu wody, jako środka higienicznego można już znaleźć w traktacie indyjskim Rigweda z około 1500 roku p.n.e. Później wzmianki o sanitarnej roli wody w życiu człowieka pojawiały się w Asyrii, Babilonii i Judei. Wiedzę o walorach wody z Egiptu do

Grecji sprowadził Pitagoras. Starożytni Grecy, jako pierwsi zaczęli naukowo opisywać wpływ warunków życia na zdrowie ludności. Prekursorem światowej medycyny był Hipokrates (460-377 rok p.n.e.), twórca wiekopomnych dzieł „O zdrowym trybie życia” i „O powietrzu, wodach i okolicach”. Twierdził on, że występowanie chorób należy identyfikować z zapatrzeniem w wodę, dbałością o higienę osobistą i trybem życia codziennego. Z Grecji wiedza o właściwościach higienicznych wody trafiła do Rzymu dzięki Asklepiadesowi. Z kolei starożytni Rzymianie skrupulatnie przestrzegali prawa sanitarnego. Stosowne przepisy dotyczyły wodociągów, kontroli wody, pożywienia oraz kanalizacji. Pieczę nad tą sferą życia społecznego sprawowali specjalnie powołani urzędnicy – edylowie.

Nazwa Dyrektywy związana jest z katastrofą, która wydarzyła się w 1976 roku we Włoszech w miejscowości Seveso, w zakładach chemicznych produkujących pestycydy i herbicydy. Uwolniona chmura gazów zawierała tetrachlorodibencoparadioksynę (TCDD). Był to produkt niekontrolowanej reakcji egzotermicznej. Zanieczyszczeniu uległ teren o powierzchni około 40 km², ewakuowano 600 osób a 2000 osób poddano hospitalizacji ze względu na zatrucie dioksynami. Nie zanotowano bezpośrednich wypadków śmiertelnych [150].

Dyrektywa 96/82/EC Seveso II w sprawie kontroli niebezpieczeństwa poważnych awarii związanych z substancjami niebezpiecznymi obowiązuje od 3 lutego 1999 roku. Wprowadza pojęcia:

- polityka zapobiegania poważnym awariom (PZPA)
- system zarządzania bezpieczeństwem (SZB)
- strategia zapobiegania poważnym awariom (SZPA)
- zakład o zwiększonym ryzyku (ZZR), zakład dużego ryzyka (ZDR), wewnętrzny plan operacyjno-ratowniczy (WPO-R), zewnętrzny plan operacyjno-ratowniczy (ZPO-R)
- raport o bezpieczeństwie (RoB).

W artykule 3 Dyrektywy znajduje się definicja *poważnej awarii*, która oznacza „każde zdarzenie, takie jak znaczna emisja zanieczyszczeń, pożar lub wybuch powstały podczas pracy zakładu, stwarzające poważne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego i/lub środowiska, natychmiastowe lub opóźnione, w zakładzie lub poza nim oraz z udziałem jednej lub większej ilości niebezpiecznych substancji”.

W artykule 8 pojawia się nowy termin – *efekt domina*, oznaczający ciąg zdarzeń prowadzący do wystąpienia poważnej awarii [134, 157].

Dyrektywa Seveso II wprowadza analizę ryzyka. Postuluje się, żeby analiza ryzyka nie polegała jedynie na wykazaniu prawdopodobieństwa ewentualnej śmierci [141]. Iloczyn negatywnych skutków środowiskowych, społecznych i częstotliwości zdarzeń niepożądanych z nimi związanych jest podstawą analizy ryzyka i wyciągnięcia stosownych wniosków [141].

Wstępną analizę zagrożeń (ang. *Preliminary Hazards Analysis* – PHA) postuluje się wykorzystywać, jako technikę szacowania ryzyka. Zagrożenia powinny być eliminowane lub ograniczane możliwie u źródła dzięki metodom zwiększającym bezpieczeństwo. Można tego dokonywać na podstawie praktyk stosowanych w przeszłości i już sprawdzonych. Metodyka osiągnięcia takiego celu przedstawia się następująco [66, 141, 156]:

- ryzyko powinno być tak małe, jak jest to tylko możliwe do osiągnięcia (ang. *As Low As Reasonably Achievable* – ALARA)
- ryzyko powinno być tak małe, jak jest to praktycznie możliwe do osiągnięcia (ang. *As Low As Reasonably Practicable* – ALARP),
- zastosowanie najlepszej dostępnej technologii (ang. *Best Accessable Technology* – BAT), tak w odniesieniu do procesu wytwórczego, jak i metod zapobiegania poważnym awariom.

6.8.3. Zdefiniowanie ryzyka

W analizach bezpieczeństwa, przy założeniu pojawienia się zdarzeń niepożądanych zgodnie z rozkładem wykładniczym czasu pracy bezuszkodzeniowej, prawdopodobieństwo wystąpienia takiego zdarzenia (zawodności) wyznacza się ze wzoru:

$$Q = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (25)$$

W zagadnieniach oceny ryzyka wyrażenie $\lambda t \ll 1$. Wówczas prawdopodobieństwo Q można przybliżyć wartością [191]:

$$Q = \lambda t \quad (26)$$

Pozwala to na wnioskowanie, że niezależnie od wartości intensywności uszkodzeń $\lambda = \text{const}$, wzrost ekspozycji na ryzyko jest związany z czasem t i zawsze skutkuje wzrostem tegoż ryzyka.

Klasyczną definicją ilościową ryzyka r jest iloczyn prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia P i negatywnych skutków z nim związanych C [131]:

$$r = P C \quad (27)$$

Skutki można określić w przedziale od zera do jedności, przy czym wartości $C = 1$ przypisuje się zejście śmiertelne. W ten sposób, ograniczając się do rozpatrywania takiego przypadku, otrzymuje się $r = P$.

W epidemiologii wyróżnia się pojęcie ryzyka bezwzględnego i ryzyka względnego [51]. Ryzyko bezwzględne polega na określeniu liczby zaobserwowanych przypadków O (ang. *Observed*) i oczekiwanych E (ang. *Expected*) w określonej populacji ludzi. Ryzyko względne wyznacza się ze wzoru:

$$rr = \frac{O}{E} \quad (28)$$

Często wyznacza się także tzw. nadmiarowe ryzyko względne ze wzoru:

$$err = \frac{O - E}{E} \quad (29)$$

Można też odnosić wielkość ryzyka do liczby osobolet PY (ang. *person years*). Wtedy wzór (29) przyjmuje postać:

$$err = \frac{O - E}{PY} \quad (30)$$

Przykładowo, jeżeli $rr = 1,4$, to oznacza, że względne ryzyko nadmiarowe wynosi 0,4, co oznacza wzrost o 40% ponad normalną częstotliwość zgonów z powodu zatrucia skażoną wodą.

Uważa się, że ryzyko śmiertelnego zachorowania w wyniku spożycia zatrutej wody jest proporcjonalne do dawki. Jest to znana hipoteza wynikająca z przyjęcia założenia addytywności efektów. Istnieje jednak dyskusyjny fakt „dużej” i „małej” dawki. W ocenach ryzyka zdrowotnego pozostaje problem spójności wymienionej hipotezy w obszarze małych dawek [38].

Ilustracją tego może być następujące rozumowanie: jeżeli dana dawka wywołała skutek śmiertelny z prawdopodobieństwem 0,2, np. 200 zgonów na każde 1000 osób, to z tego bynajmniej nie wynika, że w wypadku dawki 100 razy mniejsze zanotuje się 2 zgony na każde 1000 osób. Niewątpliwie prawdą jest, że tak nie wynika, ale też nie jest prawdą, że tak nie może być.

6.8.4. Wartościowanie ryzyka

Obecnie światowym trendem staje się maksymalne akceptowane ryzyko indywidualne nie większe niż 10^{-6} na rok, natomiast ryzyko grupowe 10^{-5} na rok [104].

Zakłada się, że poziom ryzyka indywidualnego pomiędzy 10^{-4} a 10^{-6} na rok wymaga przeprowadzenia analizy zysków i strat (ang. RCBA – *risk cost, benefit analysis*) zgodnie z zasadą ryzyka tak niskiego, jak to praktycznie jest uzasadnione (ALARP).

Brytyjskie przepisy HSE (ang. *Health and Safety Executive*) przyjmują maksymalne akceptowalne ryzyko dobrowolne na poziomie 10^{-3} na rok, natomiast narzucone ryzyko grupowe odnośzone do zagrożeń przemysłowych na poziomie 10^{-4} na rok przez co najmniej 10 lat.

Zasada ALARP stosowana jest w wielu różnych dziedzinach analizy ryzyka związanego z działalnością przemysłową [19]. Przyjmuje się:

- górną granicę obszaru ALARP:
 - dla pracowników 10^{-3} zgonów/rok
 - dla ludności 10^{-4} zgonów/rok
- dolną granicę obszaru ALARP:
 - dla pracowników i ludności 10^{-6} zgonów/rok.

Obowiązuje przy tym pojęcie ekwiwalentu nieszczęśliwego wypadku (ang. *equivalent fatality*):

1 zgon = 10 poważnych obrażeń = 200 lekkich obrażeń.

Akceptacja ryzyka według odczucia społecznego przedstawia się następująco:

- 10^{-8} (jeden zgon w skali rocznej na każde 100 milionów osób) – zagrożenie jest odczuwalne w sposób incydentalny
- 10^{-6} (jeden zgon rocznie na każdy milion osób) – wypadki takie są odnotowywane, ale nie podejmuje się specjalnych procedur aktywnego przeciwdziałania tego rodzaju zagrożeniom
- 10^{-4} (jeden zgon rocznie na 100 tysięcy osób) – obywatele żądają zorganizowanych działań ostonowych

- 10^{-2} (jeden zgon rocznie na 100 osób) – ryzyko tego rodzaju powinno być zredukowane indywidualnie.

Analizy historyczne zdarzeń niepożądanych typu katastroficznego w systemach technicznych wskazują, że wywołują je od 3 do 5 zdarzeń awaryjnych występujących w tym samym czasie – jednocześnie lub w małym jego interwale [13].

6.8.5. Pojęcie mikroryzyka

Pojęcie mikroryzyka związanego z czynnościami człowieka wprowadził G. Marx [104]. Zdefiniował on, że jest to ryzyko zejścia śmiertelnego na jeden milion osób w wyniku wykonywania danej czynności. W ten sposób wielkość ryzyka można podawać w jednostkach [mikroryzyko/rok]. Przykładowo, wielkość ryzyka dla pracy człowieka w wybranych branżach gospodarki wynosi:

- praca w zakładzie elektromechanicznym: 100 mikroryzyko/rok, czyli 10^{-4}
- praca w kopalni węgla: 800 mikroryzyko/rok, czyli $8 \cdot 10^{-4}$
- praca przy linii wysokiego napięcia: 1200 mikroryzyko/rok, czyli $1,2 \cdot 10^{-3}$
- praca na platformie wydobywania ropy naftowej: 1800 mikroryzyko/rok, czyli $1,8 \cdot 10^{-3}$.

Z kolei wartości wybranych czynności dnia codziennego człowieka, odpowiadające jednostce 1 mikroryzyka, przedstawiają się następująco:

- oddychanie zanieczyszczonym powietrzem miejskim podczas smogu w czasie 10 d
- jazda pociągiem na dystansie 2500 km
- przelot samolotem na odległości 2000 km
- jazda samochodem na dystansie 100 km
- praca przez 5 tygodni w zakładzie przemysłowym.

Operowanie pojęciem mikroryzyka wydaje się być bardzo klarownym i powszechnie akceptowanym. Z przytoczonych danych wynika, że podróże samolotem są bardziej bezpieczne od jazdy samochodem:

- podróż samolotem

1 mikroryzyko = 2000 km, czyli

$$\frac{1}{10^6} = 2000 \text{ km}$$

$$1 \text{ zgon} = 2,0 \cdot 10^9 \text{ km lub } 0,5 \text{ zgonu na } 10^8 \text{ km}$$

- jazda samochodem

$$1 \text{ mikrorzyko} = 100 \text{ km, czyli}$$

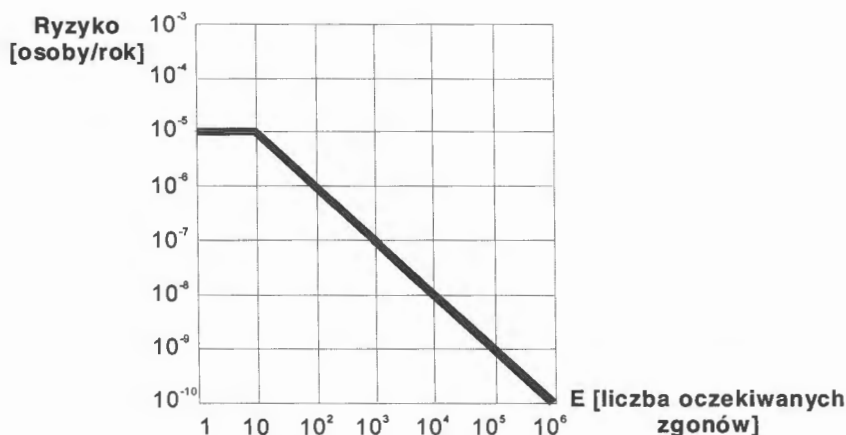
$$\frac{1}{10^6} = 100 \text{ km}$$

$$1 \text{ zgon} = 10^8 \text{ km lub } 10 \text{ zgonów na } 10^9 \text{ km.}$$

6.8.6. Ryzyko zdrowotne korzystania z wodociągu publicznego

Ryzyko zgonu

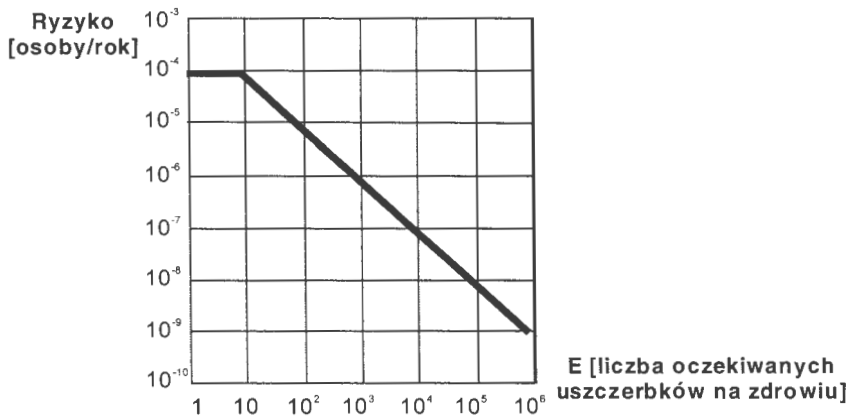
Przyjęto liczbę 10 zgonów i ryzyko indywidualne na poziomie 10^{-5} jako wartość progową dla krajów wysokorozwiniętych. W wypadku podwyższenia tej liczby progowej dla danego wodociągu publicznego, ryzyko zgonu powinno być zredukowane odwrotnie proporcjonalnie do liczby poszkodowanych osób. Zależność ryzyka w funkcji oczekiwanej liczby poszkodowanych pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Dopuszczalne ryzyko zejść śmiertelnych.

Ryzyko przewlekłego uszczerbku na zdrowiu

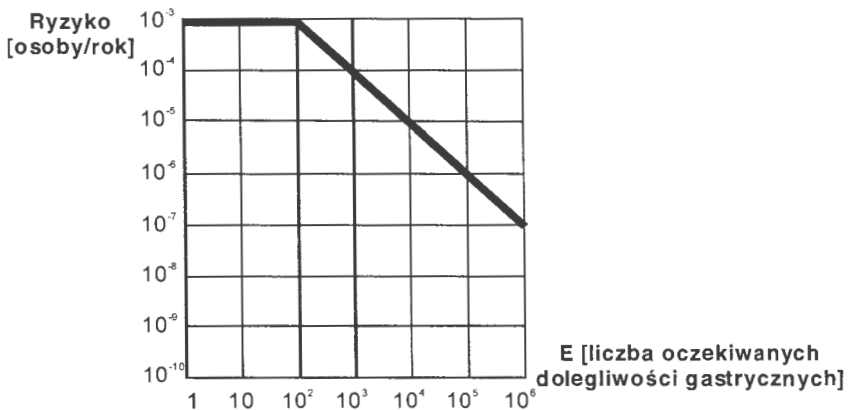
Przyjęto liczbę 10 przewlekłych skutków zdrowotnych i ryzyko indywidualne na poziomie 10^{-4} jako wartość progową. Zależność ryzyka w funkcji oczekiwanej liczby poszkodowanych pokazano na rys. 8.



Rys. 8. Dopuszczalne ryzyko przewlekłego uszczerbku na zdrowiu.

Ryzyko dolegliwości gastrycznych

Przyjęto liczbę 100 dolegliwości gastrycznych i ryzyko indywidualne na poziomie 10^{-3} jako wartość progową. Zależność ryzyka w funkcji oczekiwanej liczby poszkodowanych pokazano na rys. 9.



Rys. 9. Dopuszczalne ryzyko dolegliwości gastrycznych.

6.9. Aspekt zdrowotny w odniesieniu do spożywania wody

Rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi dopuszcza odstępstwa od dopuszczalnych parametrów jakości wody po stwierdzeniu braku zagrożenia w wyniku analizy ryzyka zdrowotnego, nie podając procedur związanych z tymi analizami [216]. Z punktu widzenia medycyny ryzyko zdrowotne określa się poprzez prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanego zdarzenia w postaci zgonu lub zachorowania człowieka, w określonym czasie lub wieku człowieka [47]. Dodatkowe ryzyko zdrowotne związane jest z wielkością nadwyżki negatywnych skutków zdrowotnych, która jest powiązana przyczynowo ze złą jakością wody. Istnieją następujące sposoby normowania wskaźników zanieczyszczenia wody do spożycia [142]:

- jednostronny, gdzie wartością progową jest kres górny „nie więcej niż” (żelazo, mangan, ChZT, mętność, barwa itp.)
- jednostronny, gdzie wartością progową jest kres dolny „nie mniej niż” (tlen rozpuszczany)
- dwustronny, gdzie wartości dopuszczalne znajdują się w przedziale „od...do” (odczyn pH, twardość)
- opisowy, (jakościowy) np. zapach akceptowalny.

Zasady oceny ryzyka zdrowotnego dla substancji toksycznych niekancerogennych według Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska US EPA odbywają się w następujących etapach postępowania [165, 193]:

identyfikacja zagrożenia,

- określenie zależności dawka – odpowiedź
- ocena narażenia
- charakterystyka ryzyka i analiza niepewności.

Substancje o działaniu toksycznym charakteryzują się progiem stężenia, poniżej którego fizjologiczne mechanizmy obronne organizmu chronią przed negatywnymi skutkami narażenia. Próg ten ilościowo opisuje poziom braku obserwowanych efektów szkodliwych NOAEL.

Wartość dawki referencyjnej wyznacza się ze wzoru:

$$\text{RfD} = \frac{\text{NOAEL}}{\text{MF} \cdot \text{UF}} \quad (31)$$

gdzie:

MF – współczynnik modyfikujący przejścia z obszaru dawek wysokich na obszar dawek niskich, typowych dla narażenia środowiskowego i przeskalowania ze zwierząt na ludzi

UF – współczynnik marginesu bezpieczeństwa.

Wielkości dawek referencyjnych są udostępnione w bazach danych HAST lub IRIS [165, 193].

Krzywe dawka–odpowiedź pochodzą z badań toksykologicznych na zwierzętach wskaźnikowych i dotyczą poziomów narażenia znacznie przekraczających spotykane narażenia środowiskowe. Pod pojęciem *narażenia* rozumie się kontakt organizmu człowieka z czynnikiem chemicznym. Ilościowo *narażenie*, to uśrednione po czasie kontaktu stężenie czynnika szkodliwego w medium środowiskowym (wodzie), za pośrednictwem którego miał miejsce kontakt [237].

Pobranie szkodliwej substancji odbywa się drogą pokarmową poprzez spożycie skażonej wody. Ocenę narażenia dokonuje się w oparciu o dawkę pobraną. Dawkę pobraną oblicza się ze wzoru:

$$D = \frac{S \cdot K \cdot CT}{MC \cdot T} \quad (32)$$

gdzie:

D – dawka pobrana [mg/d kg masy ciała]

S – średnie stężenie [mg/dm^3 wody]

K – wielkość kontaktu z danym medium w jednostce czasu [dm^3 wody/d]

CT – czas trwania kontaktu [d]

MC – średnia masa ciała (kg), dla populacji generalnej:

mężczyzna – 78,1 kg

kobieta – 65,4 kg

dzieci pomiędzy 0 a 6 rokiem życia – 16 kg

młodzież pomiędzy 7 a 18 rokiem życia – 45 kg

T – okres uśrednienia – całożyciowe przewlekłe narażenia, to
 $T = 70 \text{ lat} = 25550 \text{ d}$, jeżeli krótkotrwałe, to $T = CT$.

Dobową ilość wody do spożycia przyjmuje się w zakresie od $1,4 \text{ dm}^3$ (wartość średnia) do $2,0 \text{ dm}^3$ (percentyl 90%).

Pobór substancji chemicznej ze skażoną wodą do spożycia wynosi:

$$D = \frac{S \cdot FI \cdot K \cdot CT}{MC \cdot T} \quad (33)$$

gdzie:

FI – współczynnik z przedziału 0 – 1, określający, jaka część faktycznie poboru pochodzi ze skażonego źródła.

Wielkość dawki pobranej z uwzględnieniem wieku i płci:

$$D_{\text{pop}} = W_{0-6} D_{0-6} + W_{7-18} D_{7-18} + W_m \cdot D_m + W_k D_k \quad (34)$$

gdzie:

k – dotyczy kobiet

m – dotyczy mężczyzn.

W_i - udziały w populacji generalnej dzieci (0-6), młodzieży (7-18), mężczyzn i kobiet,

przy czym:

$$\sum_{i=1}^4 W_i = 1 \quad (35)$$

Iloraz narażenia wynosi:

$$HQ = \frac{D}{RfD} \quad (36)$$

Jeżeli $HQ \geq 1$, to istnieje możliwość negatywnych skutków zdrowotnych w wyniku długotrwałego narażenia na daną substancję.

W tab. 2 podano przykładowe wartości RfD w mg/kg d.

Tabela 2. Wybrane wartości RfD dla substancji toksycznych.

RfD substancji toksycznej								
Cr ⁺⁶	Cr ⁺³	Zn	Cd	Cu	Ni	F	Mn	Fe
3·10 ⁻³	1,5	0,3	5·10 ⁻⁴	4·10 ⁻²	2·10 ⁻²	6·10 ⁻²	2·10 ⁻²	0,3

W tabeli 3 podano współczynniki wagowe struktury demograficznej.

Tabela 3. Współczynniki wagowe do obliczenia dawki populacyjnej.

Grupa wiekowa	0-6	7-18	>18 [m]	>18 [k]
W _i	0,094	0,231	0,331	0,334

Wielkość dobowego spożycia wody w grupach wiekowych modeluje się rozkładem logarytmiczno-normalnym o parametrach przedstawionych w tab. 4.

Tabela 4. Wydajności średnie i odchylenia standardowe dotyczące dobowego spożycia wody.

Grupa wiekowa	Wartość średnia dm ³ /d	Odchylenia standardowe dm ³ /d
0-6	0,5	0,3
7-18	1,1	0,5
>18 m	1,6	0,4
>18 k	1,3	0,3

Dawka związana z kontaktem skóry z substancją toksyczną w wodzie.

$$D = \frac{S \cdot SA \cdot PC \cdot CT}{MC \cdot T} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{d}} \right] \quad (37)$$

gdzie:

SA – średnia powierzchnia ciała:

– mężczyźni $1,94 \cdot 10^2 \text{ dm}^2$

– kobiety $1,69 \cdot 10^2 \text{ dm}^2$

– ręka $0,23 \cdot 10^2 \text{ dm}^2$

– dłoń $0,082 \cdot 10^2 \text{ dm}^2$

– noga $0,55 \cdot 10^2 \text{ dm}^2$

PC – stała przenikania [dm/d] (należy korzystać z danych literaturowych) [227].

13. Podsumowanie

- Jednym z podstawowych warunków funkcjonowania aglomeracji miejskiej jest zapewnienie bezpieczeństwa dostawy wody do spożycia przez wodociąg publiczny. Definiowane jest to, jako stan umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na wodę w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony z poszanowaniem ochrony naturalnych zasobów wód. Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę uzależnione jest od szeregu czynników, między innymi technicznych, społecznych, ekonomicznych, politycznych i ekologicznych. Spośród czynników technicznych decydujące znaczenie ma niezawodność systemu zaopatrzenia w wodę. Bezpieczeństwo rozumiane jest, jako zdolność systemu do ochrony wewnętrznych wartości przed zewnętrznymi zagrożeniami.
- Zarządzanie bezpieczeństwem SZW polega w fazie wstępnej na utworzeniu bazy danych o zdarzeniach niepożądanych ze szczególnym uwzględnieniem częstości ich występowania i negatywnych skutków z nimi związanych. W fazie zasadniczej zarządzania bezpieczeństwem podejmowane są decyzje o wyborze środków ochrony przed ryzykiem, wdrożenie ich do praktyki eksploatacyjnej oraz kontrola skuteczności zastosowanych rozwiązań. Obserwuje się wzrost ważności ryzyka środowiskowego związanego z funkcjonowaniem systemów technicznych, rozumianego, jako prawdopodobieństwo, że dane zdarzenie niepożądane spowoduje szkody dla zdrowia lub/i środowiska. W skład ryzyka środowiskowego wchodzi ryzyko ekologiczne związane z wpływem zanieczyszczeń na środowisko naturalne i ryzyko zdrowotne związane z wpływem zanieczyszczeń na zdrowie człowieka.
- Z analizy teoretycznych modeli stosowanych do opisu bezpieczeństwa SZW na uwagę zasługują pręźnie rozwijające się modele behawioralne, polegające na rozpoznawaniu preferencji w zakresie akceptacji ryzyka przez konsumentów wody wodociągowej. W oszacowaniach ryzyka występuje problematyka niepewności danych źródłowych, którą należy

uwzględnić w strategiach długoterminowych. Zaproponowane modele Bayes'a i Poissona wydają się być stosunkowo prostymi w zastosowaniach praktycznych uaktualnienia danych eksploatacyjnych estymatorów wskaźników niezawodności.

- Należy uświadamiać społeczności lokalne w zakresie spraw związanych z zagrożeniami po to, by po wystąpieniu zdarzenia niepożądanego ich zachowanie było bardziej adekwatne do okoliczności i poprzez swoją racjonalność wspomagało akcję ratowniczą, w myśl maksymy „należy uczyć się na uniwersytetach, a nie na błędach”. Bezpieczeństwo uznawane jest za współczesny miernik szans przetrwania i rozwoju społeczeństw. Wymaga ono w dalszym ciągu pogłębionych analiz teoretycznych, badań empirycznych i projekcji praktycznej poprzez wdrożenie programów profilaktyczno-kompensacyjnych. Analizy ryzyka środowiskowego wykorzystują wiedzę z różnych dziedzin naukowych (medycyny, toksykologii, nauk środowiskowych) i stanowią złożony interdyscyplinarny proces naukowy.
- Ryzyko czysto losowe nie daje szansy uzyskania przewagi poprzez jego rozpoznanie. Ryzyko poznawalne daje taką szansę. Istnieje możliwość popełnienia w tym zakresie błędu I i II rodzaju. Błąd określenia charakteru ryzyka I rodzaju polega na odrzuceniu hipotezy o poznawalności ryzyka, mimo że w rzeczywistości ma ono charakter poznawalny. Błąd określenia charakteru ryzyka II rodzaju polega na przyjęciu hipotezy o losowości ryzyka, mimo że w rzeczywistości jest ona fałszywa. Skutki przyjęcia fałszywej hipotezy o losowości ryzyka (błąd II rodzaju) powodują, że nie prowadzi się analiz jego rozpoznania i w ten sposób traci szanse uzyskania przewagi nad konkurencją. W wypadku słabego rozpoznania ryzyka ważną staje się jego dywersyfikacja, z którą związane są koszty. Właściwe rozpoznanie ryzyka pozwala na jego retencję we własnym zakresie i ograniczenie kosztów związanych z dywersyfikacją. Istnieje wtedy możliwość zarządzania i sterowania poznawalnym ryzykiem i sprowadzenia jego wielkości do poziomu akceptowalnego.
- Wzrost sprzedaży wody, poprawa jej jakości przez firmę wodociągową, związane są z ryzykiem, ale z kolei ryzyko można zredukować jedynie poprzez poprawę jakości usługi świadczonej na rzecz konsumenta przez firmę wodociągową. Zaproponowanie wielkości ryzyka związanego ze spożywaniem wody wodociągowej wychodzi na przeciw analizie zagrożeń i oszacowaniu ryzyka z nimi związanymi, postulowanej w metodologii analizy zagrożeń w krytycznych punktach kontroli (ang. HACCP –

Hazard Analysis of Critical Control Points), do której zmierzają współczesne normatywy jakości wody do spożycia.

- Każda działalność człowieka obarczona jest ryzykiem. Wyróżnia się ryzyko dobrowolne i narzucone. Przy akceptacji ryzyka dobrowolnego często występuje jego niedoszacowanie, a przy ocenie ryzyka narzuconego często występuje jego przeszacowanie. Obserwuje się ciągłe próby zmian w koncepcjach akceptacji ryzyka. Szczególnie ważne i aktualne są działania, które koncentrują się na integracji ryzyka technicznego i środowiskowego. Przyjęcie tezy o nieunikalności stanów niepożądanych powinno prowadzić do prognozowania częstości ich występowania i potencjalnych strat z nimi związanymi, a to już jest domeną analiz i ocen ryzyka w myśl zasady „zmierzyć ryzyko, aby nim zarządzać”.
- Współczesne SZW cechuje w zakresie zarządzania centralizacja, jak i decentralizacja. W odniesieniu do ryzyka w okresie normalnego funkcjonowania systemu niezbędna jest scentralizowana kontrola, natomiast w okresach zagrożeń wymagane jest zdecentralizowane działanie. Przy analizach ryzyka nie należy kłaść największego nacisku na precyzyjność wyników, ale przede wszystkim na „sukces” lub „porażkę” przedsięwzięć związanych z poprawą bezpieczeństwa będącą wynikiem tych analiz. Celem analiz ryzyka jest dostarczenie informacji niezbędnych do podejmowania decyzji związanych z jego redukcją. W krajach Unii Europejskiej, z metodologicznego punktu widzenia, obserwuje się dwa rodzaje podejścia do problemu poprawy bezpieczeństwa. Są nimi metody jakościowe i ilościowe szacowania ryzyka. W pracy zaproponowano metodę oceny ryzyka zdrowotnego w odniesieniu do modelu indywidualnego konsumenta i modelu grupowego (kolektywnego) użytkowników wody wodociągowej. Rozróżniono w tym względzie grupy wiekowe i podział na płeć konsumentów wody do spożycia. Ze względu na konsekwencje ryzyko dzieli się na czyste i spekulatywne. Zrealizowanie zadania związanego z ryzykiem czystym zawsze przynosi stratę, a brak realizacji nie przynosi żadnych korzyści (pożar, awaria, nieszczęśliwy wypadek). Ryzyko spekulatywne związane jest z pozytywnym lub negatywnym efektem (np. zmiana ceny 1 m³ wody). Niezrealizowanie się tego rodzaju ryzyka nie przynosi ani strat, ani korzyści.
- Sterowanie ryzykiem w SZW polega na udoskonaleniu rozwiązań technicznych i/lub organizacyjnych. Związane z tym koszty powinny być analizowane z uwzględnieniem wielokryterialnego procesu decyzyjnego. Redukcja ryzyka powinna się wiązać z kalkulacją kosztów, związanych

z wprowadzeniem zmian eliminujących zagrożenia, oraz kalkulacją korzyści wynikających z poprawy bezpieczeństwa funkcjonowania SZW. Niezbędne jest ustalenie efektywności redukcji ryzyka z uwzględnieniem czynnika ekonomicznego. Redukcja ryzyka może odbywać się na poziomie projektu modernizacyjnego i procedur prewencji z uwzględnieniem rozwiązań z rezerwowaną oraz aktywną ochroną wymagającą interwencji/nadzoru operatora. Przedstawiona metodologia analizy kosztów i efektów sterowania ryzykiem może być wykorzystana do oceny nowych strategii w procesie zarządzania bezpieczeństwem SZW. Wdrażać należy najbardziej efektywne rozwiązania w sensie redukcji ryzyka. W analizie efektywności redukcji ryzyka celowe jest stosowanie rachunku kosztów rocznych z uwzględnieniem stopy dyskontowej z włączeniem strat związanych z uszczerbkiem na zdrowiu człowieka.

- Identyfikacja stanu SZW może być obarczona błędami. Istnieje możliwość, że faktyczny stan systemu zostanie zidentyfikowany, jako stan inny. W przypadku systemów dwustanowych możliwe są błędy pierwszego i drugiego rodzaju. Błąd pierwszego rodzaju polega na zakwalifikowaniu systemu zdatnego, jako niezdatny. Błąd drugiego rodzaju polega na zakwalifikowaniu systemu niezdatnego, jako zdatny. Znana formuła Vilfredo Pareto głosi, że 20 % populacji ma dostęp do 80 % zasobów, co sugeruje, że 20 % wysiłku przyniesie 80 % wyników. Rozwijając wnioskowanie Pareto uważa się, że 20 % ryzyka stanowi 80 % osiągniętych rezultatów. Wynika z tego, że należy skupiać się na stosunkowo niewielkiej liczbie podstawowych zagrożeń w rozpatrywanych scenariuszach awaryjnych, mając na uwadze, że wywołują one 80 % negatywnych skutków.
- Podejmowanie ryzykownych działań przez człowieka w odniesieniu do zdarzeń niepożądanych można ograniczać poprzez podnoszenie świadomości w wyniku procesów edukacyjnych. Niewątpliwie dobrym rozwiązaniem, z tego punktu widzenia, jest uwzględnienie w standardach nauczania na kierunkach inżynierii i ochrony środowiska przedmiotów „Niezawodność i bezpieczeństwo systemów inżynierskich”, co zapewne pozwoli na propagowanie aktywnych postaw i zachowań w tym zakresie. Oprócz obszaru bezpieczeństwa indywidualnego wyróżnia się obszary bezpieczeństwa mikrospołecznego, lokalnego i państwowego. Przedstawione koncepcje oceny wartości życia ludzkiego mają charakter sygnałny i wskazują kierunki metodyczne w tej drażliwej moralnie sferze poznawczej.

- Metoda drzewa zdarzeń polega na myśleniu „do przodu” względem rozwoju reprezentatywnego zdarzenia niepożądanego. Po wystąpieniu zdarzenia inicjującego są generowane kolejne zdarzenia. Ich zaistnienie zależy od mobilności w podejmowaniu decyzji przez operatora w celu zapewnienia bezpieczeństwa. Podejmowanie decyzji przez operatora systemu, ze względu na aspekt niepewności, obarczone jest:
 - niepewnością realizacji ryzyka, gdyż nie ma pewności np., gdzie i jaka wystąpi awaria w SZW
 - pewnością co do istnienia zagrożenia, ale niepewność dotyczy terminu jego realizacji; np. wiadomo, że wodę należy uzdatniać, ale nie znana jest chwila pojawienia się zanieczyszczenia incydentalnego, które będzie wymagać wprowadzenia korekt w procesie technologicznym uzdatniania wody
 - nieznanym atrybutem ryzyka są konsekwencje wystąpienia zdarzenia niepożądanego związanego z działaniem sił przyrody, np. katastrofy naturalne (powódź, susza).
- Rozpoznanie tematu ryzyka i umiejętne jego upowszechnienie, to zwiększenie bezpieczeństwa funkcjonowania aglomeracji miejskich i ich mieszkańców. Wiąże się z tym także zwiększenie możliwości rozpoznania zagrożenia w przypadku ataku terrorystycznego z wykorzystaniem broni chemicznej lub biologicznej. W kraju powołano 6 Medycznych Zespołów Toksykologicznych na bazie szpitali wojskowych, które są profesjonalnie przygotowane do diagnozowania i leczenia w przypadkach ostrych zatruc związanych także z użyciem tego rodzaju broni masowego rażenia. Rozpoznanie celowych zatruc pozwala na efektywne im przeciwdziałanie. Atak z użyciem środków chemicznych lub biologicznych jest szczególnie groźny ze względu na swój charakter – jest niewidzialny i niesłyszalny, a objawy w przypadku broni biologicznej pojawiają się dopiero po kilku dobach. Przedmiotem ataku mogą być bezpośrednio ludzie, zwierzęta, uprawy rolne, powietrze, gleba, woda itp. Tego typu akty terrorystyczne mogą być anonimowe, gdyż dywersant odpowiedzialny za spowodowanie skażenia ma czas na opuszczenie miejsca zdarzenia. W laboratoriach prowadzi się badania środków chemicznych i biologicznych, jednak rzeczywiste negatywne skutki ich użycia są wieloaspektowe, co wzmaga nasz niepokój przed nimi. Akty terrorystyczne w swej naturze mają gwałtowny charakter i oprócz powodowania ofiar, porażają umysł człowieka. Powodują dezorientację, zamieszanie

nie wśród ludzi, zwiększanie niepewności i sianie paniki. Możliwość użycia broni chemicznej bądź biologicznej najlepiej ilustruje cytat: „jest ona bombą atomową ludzi biednych”. Koszty jej produkcji są relatywnie niskie, jeżeli uwzględni się zasięg działania w stosunku do broni konwencjonalnej. Jej ślad niszczący może być obecny w środowisku przez długi czas. Współcześnie pojawiła się nowa forma terroryzmu związana z atakami hakerów na serwery instytucji publicznych, którą nazwano cyberterroryzmem. Cyberterroryzm wykorzystuje technologie informatyczne do wywierania presji psychologicznej i wyrządzania szkód z pobudek politycznych, ideologicznych lub religijnych.

- Poczucie bezpieczeństwa związane jest z subiektywną oceną człowieka, która pozwala funkcjonować bez narażenia na oddziaływanie zdarzeń niepożądanych i towarzyszącego temu lęku o utratę życia, zdrowia, majątku i innych wartości. Podstawą bezpieczeństwa jednostki są obowiązujące regulacje prawne i instytucjonalne. Z tym musi być związane bezpieczeństwo realne, które jest efektem aktywnej postawy i skutecznego działania w celu zapobiegania występowania zagrożeń bezpieczeństwa, usuwania ich w wypadku pojawienia się, a także likwidowania skutków, które spowodowały. Obowiązujący w kraju specjalny porządek prawny stanu klęski żywiołowej powodzi, w zakresie nakazów, zakazów, ograniczeń praw i wolności odpowiada międzynarodowym standardom. Paradoksalne ze swej istoty ograniczenia pewnych praw i wolności chronią podstawowe prawa człowieka.
- W pracy wykazano możliwość zarządzania ryzykiem w odniesieniu do zdarzeń pogodowych. Analizy i oceny ryzyka w odniesieniu do katastroficznych zdarzeń pogodowych są dobrze udokumentowane poprzez różnego rodzaju ofertę ubezpieczeniową. Zaprezentowane instrumenty zarządzania ryzykiem w odniesieniu do tzw. transakcji pogodowych dają możliwości ochrony w odniesieniu do praktyki dnia codziennego przed niepożądanymi zdarzeniami pogodowymi. Jest to szczególnie przydatne dla różnego rodzaju sektorów gospodarki, których efekty funkcjonowania powiązane są z panującymi warunkami atmosferycznymi (temperatura, opady, wiatry).
- Dokonano interpretacji znanych procedur obróbki danych statystycznych pod kątem analizy ryzyka. Zaproponowano wykorzystanie semiwariancji i semiodchylenia standardowego, jako podstawowych miar oceny ryzyka na podstawie baz danych awaryjności w SZW. Często ryzyko w SZW kojarzone jest ze zdarzeniami niepożądanymi i stratami z nim związa-

nymi. Rozpatrywanie strat ponadprzeciętnych wydaje się być w pełni uzasadnione, w szczególności do rozpatrywania zdarzeń typu poważne awarie i katastrofy.

- Słabości metod oceny ryzyka:
 - Nieuniknioną słabością ocen ryzyka jest niewystarczająca informacja empiryczna. Z tego względu niepełne są bazy danych zdarzeń niepożądanych i przypisanych im prawdopodobieństw pojawienia się. Dla zdarzeń losowych i zdeterminowanych można wyznaczyć estymatory ich częstości lub prawdopodobieństwa wystąpienia. Istnieje jednak klasa zdarzeń występujących bardzo rzadko (incydentalnie), dla których parametry wyznacza się w oparciu o wiedzę ekspercką. Tego rodzaju zdarzenia przyjęto zaliczać do klasy zdarzeń niezdeterminowanych.
 - Często nie ma gwarancji, że zidentyfikowane są wszystkie możliwości prowadzące do danego zdarzenia niepożądanego. Brak dostatecznej wiedzy prowadzić może do pominięcia w analizach ryzyka przyczyn, które także wpływają na powstanie danego rodzaju zdarzeń niepożądanych. Tego rodzaju błędy skutkują zaniżonymi ocenami ryzyka.
 - W podstawowych analizach i ocenach ryzyka nie uwzględnia się skutków wtórnych zdarzeń niepożądanych. Wynika to z faktu, że ocena tego rodzaju skutków jest często niejednoznaczna, a trudność jej wykonania często wykazuje mało istotny wpływ na ogólne ryzyko.
 - Bardzo trudno jest uwzględnić w rozważaniach zagrożenia wprowadzane w sposób umyślny przez człowieka. Model uwzględniający ten rodzaj ryzyka wymaga zrozumienia świadomości i motywacji potencjalnych sabotażystów, terrorystów, dewiantów, wandalii itp.
- Zalety metod oceny ryzyka:
 - Pewnego rodzaju zarzutem wobec analiz i ocen ryzyka jest trudność przedstawienia ich wyników w sposób zrozumiały dla użytkowników. Przykładowo, szczegółowe drzewa zdarzeń i drzewa niezdatności obejmujące wiele scenariuszy zdarzeń katastroficznych, dla osób nie będących specjalistami stwarzają wrażenie, że ryzyko jest znacząco większe od oczekiwanego. Duża liczba szczegółów sprawia, że osoba taka nie jest w stanie zauważyć, że pewne scenariusze są mniej

prawdopodobne i o mniejszych skutkach, wobec tego należy przypisać im mniejszą wagę.

- Podstawową zaletą metod analizy i oceny ryzyka jest fakt, że prowadzone są one według określonego schematu i w oparciu o jednoznaczne założenia. Umożliwia to porównywanie uzyskanych wyników. Jest to główna cecha odróżniająca te metody od ocen intuicyjnych i niejawnych. Istnieje przy tym możliwość ilościowej oceny ryzyka, co jest krokiem do przodu w stosunku do oszacowań jakościowych. Można także zakwestionować niektóre przyjęte założenia i dokonać stosownych zmian, przez co zwiększa się wiarygodność oceny ryzyka.
- Ogół decydentów skazanych wyłącznie na swoją intuicję i doświadczenie nie jest w stanie racjonalnie działać, a poczucie odpowiedzialności powinno ich skłaniać do wykorzystywania metod ilościowych oceny ryzyka. Waga metod formalnych oceny ryzyka będzie wzrastać w miarę złożoności wzajemnych oddziaływań w systemach typu człowiek – technika – środowisko.
- Dają one możliwość ujęcia we wspólne logiczne ramy specjalistycznych ocen ekspertów z różnych dziedzin.
- Znaczenie poszczególnych założeń wstępnych można weryfikować za pomocą metod analizy wrażliwości.
- Podejmowanie decyzji o akceptowalności ryzyka odbywa się na podstawie ilościowych sądów wartościujących.

Literatura

- [1] Abramow N. N.: Pieredača wody na dolnyje roztajania. Wyd. Gastrojizdat, Moskwa 1963.
- [2] Abramow N.N.: Nadieżnost sistiem wodosnabženija. Wyd. Stroizdat, Moskwa 1979.
- [3] Adamski W., Mołczan M.: Oczyszczanie wody z wykorzystaniem procesu MIEX-DOC. Materiały Konferencyjne „Kierunki rozwoju zaopatrzenia w wodę do picia”. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp.z.o.o., Nowogród k/Łomży, 2007, s. 91-104.
- [4] Aven T.: Reliability and Risk Analysis. Copyright by Elsevier, 1992.
- [5] Avizienis A., Laprie J-C., Randell B.: Fundamental Concepts of Dependability. Report UCLA-CSD No 010028, 2000.
- [6] Babiarz B.: Akty prawne dotyczące zabezpieczenia wody przed skażeniem, a techniczne możliwości ich realizacji. Materiały konferencyjne „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 30. Wydawnictwo LIBER DUO Lublin, Białowieża, 2005, s. 101-112.
- [7] Bajer J., Przebinda A.: Czynniki wpływające na czas usuwania awarii przewodów wodociągowych i ich uzbrojenia. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 3, Warszawa 2005, s. 20-22.
- [8] Bajer J.: Podnoszenie niezawodności ujęć wody do picia za pomocą zbiorników wody surowej. Materiały konferencyjne „Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych”. Wydawnictwo PZITS O/Kraków, Zakopane – Kościelisko, 2001, s. 33-44.

- [9] Bajer J.: Zagrożenia dla ilości i jakości wody dostarczanej odbiorcom. *Wodociągi-Kanalizacja*. Wydawnictwa Komunalne, nr 6(52), 2008, s. 40-43.
- [10] Balcerzak W., Knapik K., Kubala M.: Modelowanie zjawiska zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 6, 1999, s. 201-206.
- [11] Berger M., Ways M.: Poszukiwanie przecieków sieci wodociągowych – Poradnik. Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. z o.o. Warszawa, 2003.
- [12] Bernaciak A., Spychała M.: Struktura organizacyjna systemu gospodarki wodnej w Polsce. *Miesięcznik Wodociągi i Kanalizacja* nr 10/2008. Wydawnictwo Komunalne Abrys, Poznań, 2008 s. 16-19.
- [13] Bertalanffy L.: *Ogólna teoria systemów*. PWN, Warszawa, 1984.
- [14] Billinton R., Allan R.N.: *Reliability Evaluation in Engineering Systems. Concepts and Techniques*. Copyright by Plenum Press. London, 1992.
- [15] Birolini A.: *Qualität und Zuverlässigkeit technischer Systems. Theorie, Praxis, Management*. Copyright by Springer, Berlin, 1990.
- [16] Blazes D.L., Lawler J.V., Lazarus A.A.: Kiedy biotoksyny stają się narzędziem terroru. *Medycyna po dyplomie*, nr 12(81), 2002. *Medical Tribune Polska*, s. 69-74.
- [17] Blischke W., Murthy D.N.P: *Reliability: Modeling, Prediction and Optimization*. Copyright by J. Wiley and Sons, New York, 2000.
- [18] Bochnia T.: Bioindykacja toksycznych sinic jako czynnik zwiększający bezpieczeństwo systemów wodociągowych. Materiały konferencyjne „Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych”. Wydawnictwo PZITS O/Kraków, Zakopane – Kościelisko, 2001, s. 77-85.
- [19] Borysiewicz M., Furtek A., Potemski S.: *Poradnik metod ocen ryzyka związanego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi*. Wydawnictwo Instytutu Energii Atomowej, Otwock, 2000.
- [20] Brandowski A.: *Bezpieczeństwo obiektu technicznego – pojęcia*. Materiały XXXIV Zimowej Szkoły Niezawodności PAN. „Niekonwen-

- cyjonalne metody oceny trwałości i niezawodności. Wydawnictwo Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej, Szczyrk, 2006, s. 54-59.
- [21] Brzozowski M.: Przyczyny powstawania awarii na sieciach wodociągowych i metody ich usuwania ze szczególnym uwzględnieniem zaworów regulacyjnych. Materiały Konferencyjne „Kierunki rozwoju zaopatrzenia w wodę do picia”. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Nowogród k/Łomży, 2007, s. 227-234..
- [22] Bukowski L.: Wektorowa koncepcja pojęcia gotowości systemów działania. Materiały XXXVI Szkoły Niezawodności PAN. Wydawnictwo Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej. Szczyrk, 2008, s. 50-57.
- [23] Bukowski L.A., Majewski K.: Uogólniona teoria niezawodności – cele, możliwość, koncepcje. Materiały XXXIV Zimowej Szkoły Niezawodności PAN. „Niekonwencjonalne metody oceny trwałości i niezawodności. Wydawnictwo Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej, Szczyrk, 2006, s. 68-78.
- [24] Bylka H.: Straty wody w układach wodociągowych. Wodociągi-Kanalizacja. Wydawnictwa Komunalne, nr 6(28), Poznań 2006, s. 30-32.
- [25] Chomicz K.: Ulewy i deszcze nawalne w Polsce. Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej. z. 2-3, s. 5-88, Warszawa, 1951.
- [26] Croddy E., Perez-Armendariz C., Hart J.: Broń chemiczna i biologiczna. WNT, Warszawa 2003.
- [27] Dąbrowski W.: Dokąd zmierza zapotrzebowanie na wodę. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 10, 2000, s. 394-397.
- [28] Denczew S.: Podwójny aspekt bezpieczeństwa w układach dystrybucji wody. Materiały konferencyjne „Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych”. Wydawnictwo PZITS O/Kraków, Zakopane – Kościelisko, 2001, s. 109-117.
- [29] Dhillon S.: Human Reliability with Human Factors, Copyright by Pergamon Press. New York, 1986.

- [30] Dohnalik P.: Straty wody w miejskich sieciach wodociągowych. Wydawnictwo Polskiej Fundacji Ochrony Zasobów Wodnych. Bydgoszcz, 2000.
- [31] Dohnalik P., Jędrzejewski Z.: Efektywna eksploatacja wodociągów, ograniczenie strat wody. Wydawnictwo LEMTECH, Kraków, 2004.
- [32] Dohnalik P., Wytrwał P.: Wpływ stanu technicznego i niektórych czynników eksploatacyjnych na ryzyko wtórnego zanieczyszczenia wody w miejskich sieciach wodociągowych. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wydawnictwo Sigma NOT. nr 11, 2005, s. 31- 33.
- [33] Domieluk B., Stelmasiak J.: Administracyjnoprawny reżim stanu klęski żywiołowej powodzi. Materiały konferencyjne „Bezpieczeństwo wewnętrzne we współczesnym państwie” Wydawnictwo RS Druk Rzeszów, Rzeszów, 2008, s. 49-60.
- [34] Dubicki A., Słota H., Zieliński J.: Dorzecze Odry – monografia powodzi lipiec 1997. Wydawnictwo IMGW, Warszawa, 1999.
- [35] Dul T.: Ochrona wody przed skażeniem. Wodociągi-Kanalizacja Wydawnictwa Komunalne, nr 4(7), Poznań 2004, s. 9-11.
- [36] Dwiliński L.: Wstęp do logiki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1998.
- [37] Dwiliński L.: Podstawy eksploatacji obiektu technicznego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.
- [38] Environmental and Health. The European Charter and Commentary. World Health Organization Regional Publications. European Series, no. 35. WHO, 1990.
- [39] Faber M. H., Steward M. G.: Risk Assessment for Civil Engineering Facilities: Critical Overview and Discussion. Reliability Engineering and System Safety, no. 80, 2003, s. 173-184.
- [40] Fewtrell L., Bartram J.: Water Quality: Guidelines Standards Health. Assessment of Risk Management for Water Related Infections Disease. World Health Organization Series. IWA Publishing, WHO, Samittskyddisinstytutet, London 2001 (Reprinted 2002).
- [41] Findeisen W.: Analiza systemowa – podstawy i metodologia PWN, Warszawa, 1985.

-
- [42] Fishman G.: Monte Carlo: concepts, algorithms and applications. Copyright by Springer – Verlag, New York, 1996.
- [43] Fiszer J., Fiszer P.: Katastrofalne zagrożenie środowiska w czasie powodzi. Materiały konferencyjne „Ochrona jakości i zasobów wód”. Wydawnictwo PZITS O/Kraków Zakopane – Kościelisko, 1998, s. 23-30.
- [44] Fiszer J., Fiszer P.: Zarządzanie kryzysowe w przypadkach awaryjnego zanieczyszczenia wód oraz powodzi. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 10, Warszawa 2003, s. 337-339.
- [45] Fritsche A. F.: Wie sicher leben wir. Risikobeurteilung und – Bewältigung in unserer Gesellschaft. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1986.
- [46] Grabińska-Łoniewska A.: Przenoszenie przez sieć wodociągową mikroorganizmów patogennych i oportunistycznie patogennych. Zagrożenia zdrowotne i główne problemy wymagające rozwiązania. Materiały konferencyjne „Zagadnienia bezpieczeństwa wodnego” Wydawnictwo Instytutu Problemów Współczesnej Cywilizacji, Warszawa, 2005, s. 33-56.
- [47] Graczyk T.K.: Detection and risk assessment of human pathogens in drinking water distribution system. Materiały konferencyjne “Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody” Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Szczyrk, 2005, s. 75-78.
- [48] Graniczny M., Mizerski W.: Katastrofy przyrodnicze, PWN, Warszawa, 2007.
- [49] Guikema S. D., Pate-Cornell M.E.: Component choice for managing risk in engineered systems with generalized risk/cost functions. Reliability Engineering and System Safety, no. 78, 2002, s. 227-238.
- [50] Gutenbaun J.: Modelowanie matematyczne systemów. Prace Instytutu Badań Systemowych PAN. Seria: Badania systemowe. PWN, Warszawa – Łódź, 1987.
- [51] Haas C.N., Rose J.B., Gerba C.P.: Quantitative Microbial Risk Assessment. Copyright by John Wiley and Sons, New York, 1999.
- [52] Hann M., Siemianom J. N., Rosochaci W.: Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa i niezawodności obiektów górnictwa morskiego. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin, 1998.

- [53] Himer W., Qualität – und risikomana gement In der wasserverteilung. Wasser - Abwasser, GWF, nr 15/2000, s. 20-27.
- [54] Hipel K.W, Kilgour D.M, Zhao N.,Z. Risk analysis of the walker ton drinking water crisis. *Canadian Water Resources Journal*, vol. 28, no 3/2003, s. 395-397.
- [55] Hoffman B.: Oblicza terroryzmu. Wydawnictwo Bertelsmann Media, Warszawa, 1999.
- [56] Hotłoś.: Badania i ocena poziomu niezawodności sieci wodociągowych w wybranych miastach Polski. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wyd. PZITS O/Wielkopolskiego, Poznań – Zakopane, 2006, tom I s. 797-808.
- [57] Humphreys P.: Human Reliability Assessors Guide, Copyright by AEA Technology, 1998.
- [58] Ilin Ju, A.: Rascziet nadzieznosti padaczki wody. Wyd. Nadieznost i Kacziestwo, Moskwa, 1987.
- [59] Ilin Ju. A.: Nadieznost wodoprowodnych sooruzenij i oborudowanija. Wyd. Stroizdat, Moskwa, 1985.
- [60] Iwanejko R.: Bezpieczeństwo funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Innowacyjne rozwiązania techniczne i organizacyjne w przedsiębiorstwach wodociągowo-kanalizacyjnych”. Wydawnictwo AQUA S.A. w Bielsku Białej, Szczyrk, 2007, s. 33-44.
- [61] Iwanejko R.: O praktycznym stosowaniu jakościowych metod szacowania ryzyka w systemach zaopatrzenia w wodę. Czasopismo Techniczne z. 9-Ś. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2005, s.
- [62] Iwanejko R.: Ocena bezpieczeństwa konsumentów w aspekcie jakości wody dostarczonej do spożywania. Materiały konferencyjne „Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych”. Wydawnictwo PZITS O/Kraków, Zakopane – Kościelisko, 2001, s. 149-162.
- [63] Iwanejko R.: Preliminary analysis of risks attributed to operation of small surface water intakes. Mat. konf. “Water Supply and Water Qu-

- ality”. Wyd. PZITS O/Wielkopolski, Poznań – Gniezno, 2008, tom I, s. 229-239.
- [64] Iwanejko R., Lubowiecka T.: Analiza ryzyka, jako narzędzie planistyczno-decyzyjne w wodociągach. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawnictwo PZITS O/Wielkopolski, Poznań, 2004, tom II, s. 547-558.
- [65] Iwanejko R., Lubowiecka T.: Analiza ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę - studium zagrożeń. Czasopismo Techniczne z. 9-Ś. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2005, s. 153-168.
- [66] Iwanejko R., Wieczysty A.: O konieczności i sposobach określania ryzyka producenta i odbiorcy wody w systemie wodociągowym. Materiały konferencyjne „Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych”. Wydawnictwo PZITS O/Kraków, Zakopane – Kościelisko, 2001, s. 163-172.
- [67] Iwanicka Z., Knapik K.: Problemy racjonalizacji zużycia wody w systemach zaopatrzenia w wodę w Polsce. Instal Wydanie specjalne. Wydawnictwo Ośrodka Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa, 2008, s. 23-26.
- [68] Jaźwiński J., Szpytko J.: Zasady wyznaczania zespołu ekspertów w badaniach niezawodności i bezpieczeństwa urządzeń technicznych. Materiały XXXIV Zimowej Szkoły Niezawodności PAN. „Niekonwencjonalne metody oceny trwałości i niezawodności. Wydawnictwo Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej, Szczyrk, 2006, s. 157-167.
- [69] Jamroz K.: Review of road safety theories and models. Journal of KONBIN, vol. 1, No 1(14)2008, Safety and reliability systems. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa – Wrocław, 2008, s. 89-108.
- [70] Jeż-Wolkowiak J., Sozański M.M.: Jakość wody uzdatnionej wprowadzonej do miejskiej sieci wodociągowej. Przegląd Komunalny nr 5. Wydawnictwo ABRYS, Poznań, 2004, s. 99-106.
- [71] Kaczmarek T.T.: Ryzyko i zarządzanie ryzykiem. Ujęcie interdyscyplinarne. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania i Marketingu. Warszawa, 2005.

- [72] Kempa E.: Nic lepszego nad wodę. Wodociągi-Kanalizacja. Wydawnictwa Komunalne, nr 4(13), Poznań 2005, s. 16-17.
- [73] Knapik K.: Czasowoprzestrzenna symulacja działania systemu dystrybucji wody i jej zastosowania. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, seria: Monografie 89, Kraków, 1989.
- [74] Knapik K.: Problemy i uwarunkowania określenia niezawodności systemów dystrybucji wody. Materiały konferencyjne „Problemy zaopatrzenia w wodę i oczyszczania ścieków w warunkach gospodarki rynkowej i wymogów UE”. Wydawnictwo AQUA S.A. w Bielsku Białej, Szczyrk, 2005, s. 131-142.
- [75] Kolonko A.: Klasyfikacja oraz charakterystyka metod czyszczenia sieci uzbrojenia podziemnego. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 2, Warszawa 1998, s. 74-77.
- [76] Kołowrocki K.: Asymptotyczne podejście do analizy niezawodności systemów. Monografia Instytutu Badań Systemowych PAN, Warszawa, 2001.
- [77] Kołowrocki K.: Reliability of Large Systems. Copyright by Elsevier, 2004.
- [78] Konieczny J.: Podręczny słownik systemowy. Wydawnictwo WAT, z. 6, Warszawa, 1981.
- [79] Korczak P., Dąbrowski W.: Zagrożenia związane ze skażeniem wody pitnej pierwotniakami Giardia. Czasopismo Techniczne 8-Ś. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2005, s. 159-163.
- [80] Korczak P., Kocwa-Haluk R., Dąbrowski W.: Zawracanie wód popłucznych do układu technologicznego w świetle ryzyka skażenia wody pitnej cystami pasożytniczych pierwotniaków. Gospodarka Wodna nr 10. Wydawnictwo Sigma NOT, Warszawa, 2005, s. 402-406.
- [81] Kosmowski K. T.: Sterowanie ryzykiem w systemach technicznych z uwzględnieniem kosztów i efektów. Praca zbiorowa „Zarządzanie ryzykiem w przemyśle chemicznym i procesowym” Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2001 s. 135-155.
- [82] Kowal A.L.: Jakość wody w systemach wodociągowych. Materiały konferencyjne „Problemy zaopatrzenia w wodę i oczyszczania ście-

- ków w warunkach gospodarki rynkowej i wymogów UE”. Wydawnictwo AQUA S.A. w Bielsku Białej, Szczyrk, 2005, s. 95-102.
- [83] Kowal. A.L.: Przyczyny i zapobieganie zmianom jakości wody w systemach wodociągowych. *Ochrona Środowiska* nr 4. Wydawnictwo PZITS O/Dolnośląski, Wrocław, 2003, s.
- [84] Kuhlman A.: *Introduction to Safety Science*. Copyright Springer – Verlag, New York – Berlin – Heidelberg – Tokyo, 1986.
- [85] Kulbik M.: Komputerowa symulacja i badanie terenowe miejskich systemów wodociągowych. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Monografia 49, Gdańsk, 2004.
- [86] Kumamoto H. Heleny E.J.: *Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists*. Copyright by IEEE Press. New York, 1996.
- [87] Kuo W., Zuo M. J.: *Optimal reliability modeling*. Copyright by Wiley, New Jersey, 2003.
- [88] Kusak J., Kwietniewski M., Sudoł M.: Wpływ różnych czynników na uszkodzalność przewodów sieci wodociągowych w świetle badań niezawodności. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 10, Warszawa 2002, s. 366-371.
- [89] Kuś K., i inni: Wpływ eksploatacji i stanu technicznego sieci na jakość wody wodociągowej. *Ochrona Środowiska* nr 3. Wydawnictwo PZITS O/Dolnośląski, Wrocław, 2001, s. 17-20
- [90] Kwietniewski M., Miszta-Kruk K.: Możliwości GIS w zakresie zarządzania systemami dystrybucji wody. Materiały Konferencyjne „Kierunki rozwoju zaopatrzenia w wodę do picia”. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Nowogród k/Łomży, 2007, s. 57-65.
- [91] Kwietniewski M.: *GIS w wodociągach i kanalizacji*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2008.
- [92] Lambor J.: *Hydrologia inżynierska*. Arkady, Warszawa, 1971.
- [93] Latour T.: Kryteria oceny i wymagania dotyczące warunków produkcji i jakości wody w opakowaniach jednostkowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 9, Warszawa 2001, s. 319-322.

- [94] Leszczyńska M., Sozański M.M.: Metodyki kontroli jakości wody w miejskich sieciach wodociągowych. Przegląd Komunalny nr 5. Wydawnictwo ABRYŚ, Poznań, 2004, s. 106-110.
- [95] Lewis E.E.: Introduction to Reliability Engineering. Copyright by Wiley. New York, 1987.
- [96] Lewitowicz J.: Podstawy eksploatacji statków powietrznych. Tom 3. Systemy eksploatacji statków powietrznych. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2006.
- [97] Liderman K.: Bezpieczeństwo teleinformatyczne. Wydawnictwo Instytutu Automatyki i Robotyki WAT, Warszawa, 2001.
- [98] Lubowiecka T., Wieczysty A.: Ryzyko w systemach zaopatrzenia w wodę. Monografia Komitetu Gospodarki Wodnej PAN „Ryzyko w gospodarce wodnej” z. 17. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000, s. 113-141.
- [99] Łomotowski J., Siwoń Z.: Metodyka badań eksploatacyjnych przewodów sieci wodociągowych. Materiały II Kongresu Inżynierii Środowiska. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 32. Wydawnictwo LIBER DUO, Lublin, 2005, s. 439-452.
- [100] Łomotowski J., Siwoń Z.: Wykorzystanie programów symulujących skład jonowy wody do oceny stabilności chemicznej wody wodociągowej. Ochrona Środowiska nr 4. Wydawnictwo PZITS O/Dolnośląski, Wrocław, 2004, s. 13-16.
- [101] Malina A., Pawełek B., Wanat S., Elias A.: Statystyczne metody oceny ryzyka w działalności gospodarczej. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków, 1998.
- [102] Marcinkowski J.: Rozkłady prawdopodobieństwa przydatne w rozwiązywaniu problemów transportu. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1997.
- [103] Markowski A.S.: Zapobieganie stratom w przemyśle. Cz. II. Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy. Cz. III. Zarządzanie bezpieczeństwem procesowym. Wydaw. Politechniki Łódzkiej, Łódź 2000.
- [104] Marx G.: People and Risk. Atoms in our hands. Ronald Eötvös Physical Society, Budapest, 1995 s. 51-71.

-
- [105] Mays L. W.: *Reliability Analysis of Water Distribution Systems*. Published by the American Society of Civil Engineers, New York, 1989.
- [106] Mays L. W.: *The Role of Risk Analysis in Water Resources Engineering*. Department of Civil and Environmental Engineering. Arizona State University, 2005.
- [107] Mays L. W.: *Water Supply Systems Security*. Publisher: McGraw – Hill Professional Engineering, Texas, 2004.
- [108] McGill W.L., Ayyub B.A., Kaminskiy M.: *Risk Analysis for Critical Asset Protection*. *Risk Analysis*, Wiley Blackwell, v 27, No 5, 2005 s. 1265-1281
- [109] Mielcarzewicz E.: *O wodociągach i kanalizacji miast starożytnych*. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 5, Warszawa 2003, s. 162-167.
- [110] Mikulik J.: *Wybrane zagadnienia zapewnienia bezpieczeństwa i komfortu w budynkach*. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2008.
- [111] Montgomery D.C., Runger G.C.: *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Copyright by John Wiley and Sons, New York, 1994.
- [112] Müller R., Schwarz E.: *Zuverlässigkeit – Management* Copyright by Simens AG. Berlin – München, 1994.
- [113] Murzewski J.: *Niezawodność konstrukcji inżynierskich*, Arkady, Warszawa, 1989.
- [114] Nawrocki W., Piasek Z.: *Analiza metod lokalizacji awarii rurociągów podziemnych*, cz. 1. Metody wibroakustyczne. *GWITS* nr 10, s. 28-32, cz. 2. Metody elektryczne i elektromagnetyczne *GWITS* nr 11, s. 5-9, cz. 3. Metody termiczne *GWITS* nr 12, s. 5-10. Wydawnictwo Sigma – NOT, Warszawa, 2008.
- [115] Nowakowski T.: *Metodyka prognozowania niezawodności obiektów mechanicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1999.
- [116] Nowakowski T., Plewa M.: *Kanibalizm – metoda utrzymania systemu technicznego*. materiały XXXVII Zimowej Szkoły Niezawodności PAN „Niezawodność systemów antropotechnicznych”. Wydawnictwo

- Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej. Szczyrk, 2009, s. 230-238.
- [117] O'Connor P.D.T.: Practical reliability engineering. Copyright by Wiley. Chichester, 1991.
- [118] Pawełek J., Wojdyna M.: Analiza uszkodzeń przewodów rozdzielczych w dużym systemie wodociągowym. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 2, 2001, s. 49- 54.
- [119] Pham H.: Handbook of Reliability Engineering. Copyright by Springer, London, 2003.
- [120] Piasecki S.: Elementy teorii niezawodności i eksploatacji obiektów o elementach wielostanowych. Monografia Instytutu Badań Systemowych PAN, Warszawa, 1995.
- [121] Piechurski F.: Straty w systemie wodociągowym cz II. Wodociągi-Kanalizacja. Wydawnictwa Komunalne, nr 4(50), Poznań 2008, s. 21-23.
- [122] Piechurski F.: Straty wody w systemie wodociągowym cz I. Wodociągi-Kanalizacja. Wydawnictwa Komunalne, nr 3(49), Poznań 2008, s. 24-26.
- [123] Piechurski F.: Straty wody w systemie wodociągowym cz III. Wodociągi-Kanalizacja. Wydawnictwa Komunalne, nr 5(51), Poznań 2008, s. 57-62.
- [124] Pihowicz W.: Inżynieria bezpieczeństwa technicznego. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.
- [125] Płusa T.: Zagrożenie bronią biologiczną. Medycyna po dyplomie, nr 12(81), 2002. Medical Tribune Polska, s. 46-53.
- [126] Pogorzelski W.: Teoria systemów i metody optymalizacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1999.
- [127] Poradnik projektanta - Finpol Rohr Ltd Rury preizolowane, Warszawa, 1995.
- [128] Preś J.: Zarządzanie ryzykiem pogodowym. Wydawnictwa fachowe Cedetu, Warszawa, 2007.

- [129] Pulkkinen U.: Bayesian Uncertainty Analysis of Probabilistic Risk Models. Technical Research Centre of Finland, Espoo. 1994, s. 1068-1073.
- [130] Rak J.: A Study of the Qualitative Methods for Risk Assessment in Water Supply Systems. Environment Protection Engineering, z. 3-4, 2003. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, s. 123-134.
- [131] Rak J. Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2004.
- [132] Rak J.: Awaryjność sieci wodociągowych w miastach polskich. Kwartalnik Wodociągi Polskie, Wydawnictwo Izby Gospodarczej „Wodociągi Polskie”, nr 3/2003, Bydgoszcz, 2003.
- [133] Rak J.: Metoda szacowania ryzyka globalnego skażenia wody wodociągowej, Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 4, Warszawa 2007, s. 6-9.
- [134] Rak J.: Model awarii systemu zaopatrzenia w wodę typu efekt domina. Materiały II Kongresu Inżynierii Środowiska. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 32. Wydawnictwo LIBER DUO, Lublin, 2005, s. 475-484.
- [135] Rak J.: O potrzebie remontów sieci wodociągowej Rzeszowa.. Kwartalnik techniczny Armatura i Rurociągi. Wydawnictwo PNT CIBET Sp. z o.o., Zeszyt 3/2003, Warszawa, 2003.
- [136] Rak J.: Ocena bezpieczeństwa funkcjonowania SZW metodą grafów ryzyka. Materiały konferencyjne „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych” Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 30. Wydawnictwo LIBER DUO Lublin, Białowieża, 2005, s. 237-246..
- [137] Rak J.: Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Wydawnictwo – Drukarnia LIBER DUO KOLOR Lublin. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 28, Lublin 2005.
- [138] Rak J.: Ryzyko w funkcjonowaniu operatora SZW - analiza ergonomiczna. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 6, Warszawa 2003, s. 211-214.
- [139] Rak J.: Sterowanie ryzykiem. Wodociągi-Kanalizacja., Wydawnictwa Komunalne, nr 2(60), Poznań 2009, s. 12-15.

- [140] Rak J.: Wybrane zagadnienia niezawodności i bezpieczeństwa w zaopatrzeniu w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
- [141] Rak J. R.: Bezpieczna woda wodociągowa – zarządzanie ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2009.
- [142] Rak J.R.: Method of Reliability Index Determination Concerning Municipal Water Quality. Journal of KONBIN, Safety and Reliability Systems, No 2(5)2008, Publishing and Printing House of the Air Force Institute of Technology, Warszawa, 2008, s. 157-174.
- [143] Rak J.R.: Praktyczne zastosowanie metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. Materiały Konferencyjne „Kierunki rozwoju zaopatrzenia w wodę do picia”. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Nowogród k/Łomży, 2007, s. 67-80.
- [144] Rak J.R.: Quality Control of Natural Mineral Waters the Health Safety Side. Mat. konf. “Water Supply and Water Quality”. Wyd. PZITS O/wielkopolski, Poznań – Gniezno, 2008, tom I, s. 279-288.
- [145] Rak J.R.: Stan obecny i perspektywy rozwoju nauki o ryzyku w zaopatrzeniu w wodę. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawnictwo PZITS O/Wielkopolski, Poznań - Gniezno, 2008, s. 59-78.
- [146] Rak J. R.: Wieloaspektowa istota ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. Czasopismo Techniczne, seria Środowisko z. 7, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2003, s. 243-254.
- [147] Rak J.R.: Wybrane problemy bezpieczeństwa systemów poboru i dystrybucji wody. Materiały konferencyjne „Innowacyjne rozwiązania techniczne i organizacyjne w przedsiębiorstwach wodociągowo-kanalizacyjnych”. Wydawnictwo AQUA S.A. w Bielsku Białej, Szczyrk, 2007, s. 21-32.
- [148] Rak J., Babiarsz B., Tchórzewska-Cieślak B., Studziński A.: O podstawowych uwarunkowaniach analiz i ocen ryzyka. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 11, Warszawa 2005, s. 42 -45.

- [149] Rak J., Kucharski B.: O gwarancji dostawy wody do spożycia. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, Wydawnictwo Sigma NOT, nr 1, Warszawa 2006, s. 7-10.
- [150] Rak J., Kucharski B.: Zdarzenia nadzwyczajne - poważne awarie. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 10, 2003, s. 350-352.
- [151] Rak J., Pietrucha K.: Ryzyko w kontroli jakości wody do spożycia. *Przemysł Chemiczny 87/5*. Wydawnictwo Sigma NOT, Warszawa, 2008, s. 554-556.
- [152] Rak J., Studziński A.: Ryzyko inwestycyjne. *Wodociągi-Kanalizacja*. Wydawnictwa Komunalne, nr 7/8 (39/30), Poznań 2006, s. 29-31.
- [153] Rak J., Studziński A.: Propozycja nowej systematyki wskaźników niezawodności systemu zaopatrzenia w wodę. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, Wydawnictwo Sigma NOT, z. 11, Warszawa 2007, 11-15.
- [154] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Czynniki ryzyka w eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*, Rzeszów 2007.
- [155] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Metoda zintegrowanej oceny ryzyka awarii w podsystemie dystrybucji wody. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 1, Warszawa 2006, s. 11-15.
- [156] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*, Rzeszów 2005.
- [157] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Modelowanie awarii typu efekt domina. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 11, Warszawa 2005, s. 49- 52.
- [158] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Możliwość zastosowania sieci bayesowskich w analizie niezawodności podsystemu dystrybucji wody. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, Wydawnictwo Sigma NOT. nr 1, Warszawa 2007, s 11-14.
- [159] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Review of Matrix Methods for Risk Assessment in Water Supply System. *Międzynarodowa konferencja bezpieczeństwa i niezawodności*. Wydawn. Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, *Journal of Konbin*, t. 1, z. 1, 2006, s. 67-76.

- [160] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Riziki pri eksphuatacje sistiemii ci-stiemii wodopostaczannja. Rinok Instaljacyjnyj, z. 5; 6, 2003. Wydawn. Ekoinform, s. 8-9; 14-15.
- [161] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B, Studziński J.: Wybrane problemy bezpieczeństwa systemu zaopatrzenia w wodę. Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 4. Wydawnictwo Sigma NOT, Warszawa, 2009, s. 10-13.
- [162] Rak J., Tułacz E.: Analiza opinii konsumentów wody do spożycia korzystających z wodociągu publicznego na terenie województwa podkarpackiego. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, seria: Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 42. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, s. 123-135.
- [163] Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE. Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich z 22.12.2000 r., nr L327/1.
- [164] Ratajczak Z.T.: Niezawodność człowieka w pracy. PWN, Warszawa, 1988.
- [165] Reducing risk. Promoting Health life. The World health Report, WHO, 2002.
- [166] Roland M.E., Moriarty B., System Safety Engineering and Management. Copyright by John Wiley and Sons. New York. 1990.
- [167] Rozporządzenie WE 1907/2006: Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 roku w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) oraz utworzenie Europejskiej Agencji Chemikaliów.
- [168] Rybicki S.A.: Bezpieczeństwo i ryzyko zaopatrzenia w wodę w stulecie wodociągu krakowskiego. Materiały konferencyjne „Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych”. Wydawnictwo PZITS O/Kraków, Zakopane – Kościelisko, 2001, s. 337-354.
- [169] Rybicki S.A.: System multibariera – sposób zmniejszania ryzyka dostarczania wody o niewłaściwej jakości. Ochrona Środowiska, nr 3, 2001. Wydawn. PZITS O/Dolnośląski, Wrocław, s. 7-12.

- [170] Rybicki S.A., Rybicki S.M.: Zmiany jakości wody podczas przepływu przez centralną część podsystemy dystrybucji wody. Materiały konferencyjne „Problemy zaopatrzenia w wodę i oczyszczania ścieków w warunkach gospodarki rynkowej i wymogów UE”. Wydawnictwo AQUA S.A. w Bielsku Białej, Szczyrk, 2005, s. 155-168.
- [171] Schneeweiss W. G.: Reliability Modeling, Copyright by Lilole – Verlag, Hagen 2001.
- [172] Schneeweiss W. G.: The Fault Tree Method, Copyright by Lilole – Verlag, Hagen 1999.
- [173] Sienkiewicz P.: Teoria efektywności systemów. Wydawnictwo Ossolineum, Wrocław 1987.
- [174] Siwoń Z.: Wybrane problemy eksploatacji systemów dystrybucji wody. Materiały konferencyjne “Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody” Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Szczyrk, 2001, s. 235-245.
- [175] Siwoń Z., Cieżak J., Cieżak W.: Praktyczne aspekty badań strat wody w sieciach wodociągowych. Ochrona Środowiska nr 4/2004. Wydawnictwo PZITS O/Dolnośląski, Wrocław, 2004, s. 25-30.
- [176] Siwoń Z., Łomotowski J.: Problemy modernizacji eksploatowanych układów przesyłu wody wodociągowej. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawnictwo PZITS O/Wielkopolski, Poznań, 2004, tom I, s. 187-202.
- [177] Smalko Z., Jadźwiński J.: Wybrana niekonwencjonalna metoda oceny niezawodności i bezpieczeństwa systemów technicznych w warunkach niepewności. Materiały XXXIV Zimowej Szkoły Niezawodności PAN. „Niekonwencjonalne metody oceny trwałości i niezawodności. Wydawnictwo Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej, Szczyrk, 2006, s. 288-297.
- [178] Smith D.J.: Reliability, Maintainability and Risk. Copyright by Butterworth – Heinemann, 2001.
- [179] Sozański M.M.: Technologia uzdatniania wody. Tradycja i problemy współczesne. Mat. Szkoły Jakości Wody. Wydawn. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, seria: Inżynieria Środowiska, Koszalin-Kołobrzeg 2008, s. 109-131.

- [180] Sozański M.M., Dymaczewski Z., Jeż-Wolkowiak J.: Kierunki rozwoju i nowe technologie uzdatniania wody. Materiały Konferencyjne „Kierunki rozwoju zaopatrzenia w wodę do picia”. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Nowogród k/Łomży, 2007, s. 37-55.
- [181] Speruda S.: Aktywna kontrola wycieków a szybkość napraw. Wodociągi-Kanalizacja. Wydawnictwa Komunalne, nr 7-8(16-17), Poznań 2005, s. 16-17.
- [182] Speruda S., Rodecki R.: Ekonomiczny poziom wycieków. Modelowanie strat w sieciach wodociągowych. Wydawnictwo Translator s.c., Warszawa, 2003.
- [183] Studziński A., Rak J. Aplikacja metody krytyczności oddziaływania uszkodzeń do oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne. „Współczesne problemy bezpieczeństwa pożarowego w budownictwie i inżynierii środowiska”. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej. Koszalin – Łazy, 2004. s. 387-394.
- [184] Suligowski Z.: Szczególne zagrożenia funkcjonowania wodociągów i kanalizacji. Materiały konferencyjne. „Nowe materiały, urządzenia oraz technologie bezwykopowe w wodociągach i kanalizacji”. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, seria Budownictwo 44, Kielce-Cedzyna, 2005, s. 323-329.
- [185] Suligowski Z., Bolt A.: Zagrożenia awariom w wodociągach i kanalizacji. Materiały konferencyjne. „Nowe materiały, urządzenia oraz technologie bezwykopowe w wodociągach i kanalizacji”. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, seria Budownictwo 44, Kielce-Cedzyna, 2005, s. 331-343.
- [186] System ZPU Międzyrzecz preizolowanych rur dla podziemnych sieci ciepłowniczych – katalog firmowy, 2004.
- [187] Systemy kontrolne – preizolowane sieci cieplne system PRIM S.A. Lublin, 2001.
- [188] Systemy nadzoru dla rurociągów ciepłowniczych Brandes; Karta katalogowa, Warszawa, 1999.
- [189] Szopa T.: Niezawodność i bezpieczeństwo maszyn (rozdział 5). W: Podstawy konstrukcji maszyn. PWN, Warszawa, 1986.

- [190] Szuster A.: Jakość wody wodociągowej i możliwości jej poprawy w wyniku zastosowania polifosforanowych inhibitorów korozji. *Przeгляд Komunalny* nr 5. Wydawnictwo ABRYS, Poznań, 2004, s. 110-114
- [191] Szymanek A.: *Bezpieczeństwo i ryzyko w technice*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej. Radom, 2006.
- [192] Szymanek A.: Risk Acceptation Principles in Transport. *Journal of KONBIN, Safety and Reliability Systems*, No 2(5)2008, Publishing and Printing House of the Air Force Institute of Technology, Warszawa, 2008, s. 271-290.
- [193] Świąteczak J., Skotak K., Bratkowski J., Witczak S. i in.: Metale i substancje towarzyszące w wodach przeznaczonych do spożycia w Polsce. *Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”*, t. 1. Wydawn. PZITS O/Wielkopolski, Poznań 2008, s. 289-301.
- [194] Świdarska-Bróz M., Wolska M.: Korozyjność wody wodociągowej a zjawiska zachodzące w systemie jej dystrybucji. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 1, Warszawa 2003, s. 10-15.
- [195] Świdarska-Bróz M., Wolska M.: Wpływ warunków hydraulicznych na zmiany poziomu zanieczyszczenia wody w systemie dystrybucji. *Materiały II Kongresu Inżynierii Środowiska. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, vol. 32. Wydawnictwo LIBER DUO, Lublin, 2005, s. 509-518.
- [196] Tchórzewska-Cieślak B.: Basis of Reliability of Balneotechnical Systems Safety. *Międzynarodowa konferencja bezpieczeństwa i niezawodności*. Wydawn. Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, *Journal of Konbin*, vol. 1, z. 2, 2006, s. 191-200.
- [197] Tchórzewska-Cieślak B.: Method of Assessing of Risk of Failure in Water Supply System. *Risk, Reliability and Societal Safety*, Taylor & Francis, t. 2, Norway 2007, s. 1535-1539.
- [198] Tchórzewska-Cieślak B.: Method of the Identification of the Areas of Risk of Failure in Water-Pipe Network. *Polish Journal of Environmental Studies*, t. 16, z. 2A, 2007, s. 774-776.

- [199] Tchórzewska-Cieślak B.: *Niezawodność i bezpieczeństwo systemów komunalnych na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
- [200] Tchórzewska-Cieślak B.: Risk in Water Supply System Crisis Management. *Journal of KONBIN, Safety and Reliability Systems*, No 2(5)2008, Publishing and Printing House of the Air Force Institute of Technology, Warszawa, 2008, s. 175-190.
- [201] Tchórzewska-Cieślak B.: Uncertainty in Analysis of Risk Connected with Water Distribution Subsystem Functioning. *Mat. konf. XIX Krajowej (VII Międzynarodowej) Konferencji „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”*. Poznań–Gniezno, t. 2, 2008, s. 119-129.
- [202] Tchórzewska-Cieślak B.: Use of Maintenance Technique Directed to Reliability to Manage Risk Connected with Water Supply System Operation. *Mat. konf. XIX Krajowej (VII Międzynarodowej) Konferencji „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”*. Poznań–Zakopane, t. 2, 2006, s. 631-638.
- [203] Tchórzewska-Cieślak B., Rak J.: Analysis of Risk Connected with Water Supply System Operating by Means of the Logical Trees Method. *Międzynarodowa konferencja bezpieczeństwa i niezawodności*. Wydawn. Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, *Journal of Konbin*, t. 1, z. 1, 2006, s. 315-322.
- [204] Tchórzewska-Cieślak B., Rak J.: Modele niezawodności bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę z wykorzystaniem procesów Markowa. *Materiały II Kongresu Inżynierii Środowiska*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 32. Wydawnictwo LIBER DUO, Lublin, 2005, s. 519-528.
- [205] Tchórzewska-Cieślak B., Rak J.: Propozycja nowej systematyki własności funkcjonowania systemu na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. nr 5/2008. Wydawnictwo Sigma NOT, Warszawa, 2008, s. 20-23.
- [206] Tchórzewska-Cieślak B., Rak J.R.: Hybrydowa metoda analizy scenariuszy awaryjnych w systemie zaopatrzenia w wodę. *Instal nr 10*. Wydawnictwo Ośrodka Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa, 2008, s. 102-105.

- [207] Tchórzewska-Cieślak B., Włoch A.: Method for Risk Assessment in Water Supply Systems. Międzynarodowe sympozjum probabilistyczne. Berlin 2006, s. 279-288.
- [208] Tchórzewska-Cieślak B., Wybraniec E.: Metoda wyznaczania obszarów ryzyka awarii w podsystemie dystrybucji wody. Instal nr 10. Wydawnictwo Ośrodka Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa, 2008, s. 99-101.
- [209] Toczyłowska B.: Monitorowanie jakości wody wodociągowej pod kątem określania przyczyn jej wtórnego zanieczyszczenia w sieciach i instalacjach wodociągowych. Mat. konf. „Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody”. Wydawn. Politechniki Śląskiej, Szczyrk 2003, s. 369-379.
- [210] Tokarski H.: Rola Sztabu Policji w zarządzaniu kryzysowym. Materiały konferencyjne III Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Prawno-ekonomiczne i techniczne aspekty bezpieczeństwa w ruchu drogowym” Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2007 r., s. 477-482.
- [211] Urbaniak A.: Monitorowanie i sterowanie procesami wodociągowymi. Wodociągi-Kanalizacja. Wydawnictwa Komunalne, nr 7/8 (39/30), Poznań 2006, s. 36-39.
- [212] Villemeur A.: Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment. Vol. 1. Copyright by John Wiley and Sons, New York, 1992.
- [213] Wang Y., Siu-Kui Au.: Spatial Distribution of Water Supply Reliability and Critical Links of Water Supply to Crucial Water Consumers under an Earthquake. Reliability Engineering and System Safety. Copyright by Elsevier, 2009, s. 534-541.
- [214] Wasilewski S.: System ewidencjonowania sieci wodociągowej i kanalizacyjnej oraz awarii na tych sieciach. Materiały konferencyjne „GIS, modelowanie i monitoring w zarządzaniu systemami wodociągowymi i kanalizacyjnymi”. Wydawnictwo ZG PZITS, Warszawa, 2005, s. 77-89.
- [215] Węglarczyk S.: Wybrane problemy hydrologii stochastycznej, Monografia nr 235. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 1998.

- [216] Wichrowska B., Kanclerz A.: Interpretacja zmian w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 29 marca 2007 roku dotyczącym jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Ochrona Środowiska*, nr 4, 2007. Wydawn. PZITS O/Dolnośląski, Wrocław, s. 3-10.
- [217] Wieczorek S.: Subiektywny i obiektywny wymiar bezpieczeństwa człowieka. Materiały konferencyjne „Bezpieczeństwo wewnętrzne we współczesnym świecie”. Wydawnictwo RS Druk-Rzeszów, Rzeszów, 2008, s. 534-546.
- [218] Wieczysty A. (red) i inni. Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. vol. 2, Kraków, 2001.
- [219] Wieczysty A., Iwanejko R.: A Method for Evaluating the Producer's and Consumer's Risk in Water Supply Systems. Specialised Conference System Approach to Leakage Control and Water Distribution System Management. Copyright by IWA, Brno, 2001.
- [220] Wieczysty A., Krawczyk P.: Ocena uciążliwości przerw w dostawie wody przez jej odbiorców. Materiały konferencyjne „Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych”. Wydawnictwo PZITS O/Kraków, Zakopane – Kościelisko, 2001, s. 409-417.
- [221] Wieczysty A., Lubowiecka T., Iwanejko R.: Człowiek – dyspozytor systemu jako element wpływający na jego bezpieczeństwo. Materiały konferencyjne „Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych”. Wydawnictwo PZITS O/Kraków, Zakopane – Kościelisko, 1997, s. 7-21.
- [222] Wieczysty A., Lubowiecka T., Rak J.: Stan aktualny i kierunki rozwoju w zakresie teorii i metod oceny niezawodności systemów wodociągowych w Polsce. *Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę i jakość wód”*. Wydawn. PZITS O/Wielkopolski, Poznań 2002, s. 143-172.
- [223] Wieczysty A., Rak J., Bajer J.: Określenie niezawodności ujęcia wody przy dużej niestabilności warunków hydrologicznych i sanitarnych. *Gospodarka Wodna*, nr 4, 1988. Wydawn. Sigma NOT, Warszawa, s. 80-83.

- [224] Wieczysty A., Iwanejko R., Lubowiecka T., Rak J.: Bezpieczeństwo podsystemu uzdatniania wody powierzchniowej z monitoringiem jej jakości. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawn. PZITS O/Poznań, Poznań 1994, s. 561-578.
- [225] Wolanin J.: Wybrane problemy zarządzania kryzysowego, cz. I. Przegląd Komunalny, nr 11, 2007. Wydawn. Abrys, Poznań, s. 115-128.
- [226] Woliński Sz., Wróbel K.: Niezawodność konstrukcji budowlanych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2001.
- [227] World Health Statistics, WHO, 2007.
- [228] Wójcik A. M.: Istota współczesnego strachu. Czego obawiają się ludzie? Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2007.
- [229] Wykrywanie nieszczelności rurociągów, połączenie instalacji sygnalizacyjnej impulsowej – Instrukcja ZPU Międzyrzecz, 2004.
- [230] Yamijala S., Guikema S.D., Brumbelow K.: Statistical Models for the Analysis of Water Distribution System Pipe Break Data. Reliability Engineering and System Safety. Copyright by Elsevier, 2009, s. 282-293.
- [231] Zakrzewska A., Kuś K.: Czynniki determinujące niezawodność przewodów rozdzielczych – metoda określania. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wyd. PZITS O/Wielkopolskiego, Poznań – Zakopane, 2006, tom II s. 649-660.
- [232] Zalewski J.: Modele stochastyczne i symulacja komputerowa. Zastosowanie do systemów zaopatrzenia w wodę. Wydawn. Naukowe PAN, Warszawa 2004.
- [233] Załęska-Radziwiłł M.: Badania ekotoksylogiczne w procesie ekologicznej oceny ryzyka w środowisku wodnym. Prace naukowe. Inżynieria Środowiska z. 52. Oficyna Wydawnicza Politechniki warszawskiej, Warszawa, 2007.
- [234] Zamorska J., Rak J.: Zagrożenia bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody do spożycia. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 10, Warszawa 2003, s. 371-373.
- [235] Zimoch I.: Analiza zmian jakości wody jako element zarządzania procesem monitoringu PsDyW. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Wydawnictwo Sigma NOT, nr 11, Warszawa 2006, s. 78-81.

- [236] Zimoch I.: Interpretacja i zasady szacowania ryzyka wykrycia zanieczyszczenia wody w podsystemie dystrybucji. Instal nr 10. Wydawnictwo Ośrodka Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa, 2008, s. 95-98.
- [237] Zimoch I.: Ryzyko zmian jakości wody w sieci wodociągowej w funkcji generowania THM-ów. Instal nr 10. Wydawnictwo Ośrodka Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa, 2008, s. 64-67.
- [238] Zimoch I.: Zastosowanie analiz ryzyka do oceny technologicznego funkcjonowania zakładu uzdatniania wody. Materiały konferencyjne “Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody” Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Szczyrk, 2005, s. 411-422.
- [239] Zimoch I., Trybulec K.: Monitoring jakości wody w podsystemie dystrybucji w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę Śląska. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wydawnictwo Sigma NOT, nr 11, Warszawa 2005, s. 52 -55.
- [240] Zio E.: An Introduction to the Basics of Reliability and Risk Analysis, Copyright by Word Scientific, London, 2006.
- [241] Zubrzycki W.: Terroryzm we współczesnym świecie. Materiały konferencyjne „Bezpieczeństwo wewnętrzne we współczesnym państwie” Wydawnictwo RS Druk - Rzeszów, Rzeszów 2008., s. 122-128.
- [242] Wykaz norm
- [243] PN-EN 1508:2002. Zaopatrzenie w wodę. Wymagania dotyczące systemów i ich części składowych przeznaczonych do gromadzenia wody.
- [244] PN-EN 1717:2003. Ochrona przed wtórnym zanieczyszczeniem wody w instalacjach wodociągowych i ogólne wymagania dotyczące urządzeń zapobiegających zanieczyszczenia przez przepływ zwrotny.
- [245] PN-EN 805:2002. Zaopatrzenie w wodę. Wymagania dotyczące systemów zewnętrznych i ich części składowych.
- [246] PN-EN 806-1:2004. Wymagania dotyczące wewnętrznych instalacji wodociągowych do przesyłu wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Część I: Postanowienia ogólne.

- [247] EN 60300-1:2004 Dependability management – Part 1: Dependability management systems.
- [248] PN-EN 60300-1:2004 U Zarządzanie niezawodnością – Część 1: Systemy zarządzania niezawodnością.
- [249] EN 60300-2:2004 Dependability management – Part 2: Guidelines for dependability management.
- [250] PN-EN 60300-2:2004 U Zarządzanie niezawodnością – Część 2: Wytyczne dotyczące zarządzania niezawodnością.
- [251] IEC 62198: 2001 Project risk management – Application guidelines.
- [252] PN-IEC 62198: 2005 Zarządzanie ryzykiem przedsięwzięcia. Przewodnik zastosowań.
- [253] EN 60300-3-1:2004 Dependability management – Part 3-1: Application guide - Analysis techniques for dependability – Guide on methodology.
- [254] PN-EN 60300-3-1:2004 U Zarządzanie niezawodnością – Część 3-1: Przewodnik zastosowań _ Techniki analizy niezawodności – Przewodnik metodologiczny.
- [255] EN 61014 Programmes for reliability growth.
- [256] PN-EN 61014:2004 U Programy wzrostu nieuszkodzalności.
- [257] IEC 60300-3-10:2001 Dependability management – Part – 3-10: Application guide – Maintainability.
- [258] PN-IEC 60300-3-10: 2005 Zarządzanie niezawodnością – Część 3-10: Przewodnik zastosowań – Obsługiwalność.
- [259] IEC 60300-3-11-1999 Dependability management – Part 3-11: Application guide – Reliability centred maintenance.
- [260] PN-IEC 60300-3-11:2004 Zarządzanie niezawodnością – Część 3-11. Przewodnik zastosowań – Obsługa ukierunkowana nieuszkodzalność.
- [261] EN 60300-3-12:2003 Dependability management – Part 3-12 Application guide integrated logistic support.
- [262] PN-EN 60300-3-12:2004U Zarządzanie niezawodnością – Część 3-12 Przewodnik zastosowań – Zintegrowane wspomaganie logistyczne.

- [263] EN 603003-14:2004 Dependability management – Part 3-14: Application guide – Maintenance Support.
- [264] PN-EN 60300-3-14:2004U Zarządzanie niezawodnością – Część 3-14: Przewodnik zastosowań – Obsługa i zapewnienie środków obsługi.
- [265] IEC 60812: 1985 Analysis techniques for system reliability. Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)
- [266] PN-IEC 812: 1994 Techniki analizy nieuszkodzalności systemów. Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń.
- [267] IEC 61025: 1990 Fault tree analysis (FTA).
- [268] PN-IEC 1025: 1994 Analiza drzewa niezdatności (FTA).
- [269] IEC 61165: 1995 Application of Markov techniques.
- [270] PN-IEC 1165: 1998 Zastosowanie procesów Markowa.
- [271] EN 60300-3-5:2003 Dependability management – Part 3-5: Application guide - Reliability test conditions and statistical test principles.
- [272] PN-EN 60300-3-5:2004 Zarządzanie niezawodnością – Część 3-5: Przewodnik zastosowań – Warunki badań nieuszkodzalności i zasady badań statystycznych.
- [273] IEC 61123: 1991 reliability testing – Compliance test plans for success ratio.
- [274] PN-IEC 1123: 1998 Badanie nieuszkodzalności – Plany badań zgodności dotyczące prawdopodobieństwa sukcesu.
- [275] IEC 61124: 1997 reliability testing – Compliance tests for constant failure rate and constant failure intensity.
- [276] PN-IEC 61124: 2003 Badanie nieuszkodzalności – Badania zgodności w przypadku stałej intensywności uszkodzeń i stałej intensywności strumienia uszkodzeń.
- [277] IEC 61164: 1995 reliability growth – Statistical test and estimation methods.
- [278] PN-IEC 61164: 2002 Wzrost uszkadzalności – Testy statystyczne i metody estymacji.

- [279] IEC 6030-3-2: 1993 Dependability management – Part 3. Application guide – Section 2: Collection of dependability data from the field.
- [280] PN-IEC 60300-3-4: 2001 Zarządzanie niezawodnością – Przewodnik zastosowań – Przewodnik dotyczący specyfikowania wymagań niezawodnościowych.
- [281] IEC 60863: 1986 Presentation of reliability maintainable and availability prediction.
- [282] PN-IEC 863: 1996 Przedstawianie wyników prognozowania nieuszkodzalności, obsługiwalności i gotowości.

ISBN 0208-8029

ISSN 978-83-89-47524-4
